

Marie-Thérèse Prost

Centre ORSTOM de Cayenne
BP 165 - 97323 Cayenne Cedex, GUYANE

125

**L'environnement côtier actuel de la Guyane
et quelques aspects de son analyse par télédétection**

résumé

L'envasement des côtes de la Guyane résulte du fonctionnement d'un système régional qui concerne 1 600 km de côtes entre l'Amazone et l'Orénoque. La dynamique actuelle - caractérisée par une migration continue de vastes bancs de vase attachés aux rivages - est à l'origine des modifications morphologiques considérables du trait des côtes. Spécifique des Guyanes, cette dynamique constitue un modèle d'évolution côtière dans le monde intertropical.

L'étude ici présentée est une première approche du fonctionnement de ce système régional. Les résultats s'appuient sur des données scientifiques multisources, multidisciplinaires et inter-régionales, ainsi que sur des méthodes et techniques qui ont prouvé leur fiabilité; parmi celles-ci, la télédétection constitue un nouveau regard sur l'espace géographique.

**The present coastal environment of French Guyana
and some aspects of its analysis by teledetection**

abstract

The silting of the Guyana coastline is the result of a regional system which includes 1 600 km of coastline from the Amazon to the Orinoco. The present dynamics are characterized by the continuous movement of vast quantities of silt within the river system have created considerable morphological modifications to the coastline. Peculiar to the Guyanas, this phenomenon provides an model of coastal evolution in the tropics. The study presented here is a first. The results are supported by multi-sourced, multi-disciplinary and interregional scientific data as well as proven methods and techniques including "télédétection 1" which constitutes a new view of geographical space.

**El medio ambiente costero actual de la Guayana
y algunos aspectos de su analisis por teledeteccion**

abstract

La acumulación de limo en las costas de Guayana se origina por el funcionamiento de un sistema regional que abarca 1 600 km de costa entre el Amazona y el Orinoco. La dinámica actual - caracterizada por una migración continua de grandes bancos de fango atascados en la orilla - produce modificaciones morfológicas importantes de las costas. Específica de la Guayana, esta dinámica constituye un modelo de evolución costero en el mundo intertropical.

El estudio presentado aquí es un primer enfoque del funcionamiento de este sistema regional. Los resultados se basan en datos científicos de fuentes múltiples, pluridisciplinarios e inter regionales, así como en métodos y técnicas que han probado su confiabilidad, entre ellos, la « teledetección 1 », que constituye un nuevo enfoque del espacio geográfico.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 38.199 ex 1

Cote : B

12 OCT. 1993

M

P38

Introduction

Contexte et intérêt de l'étude

Les côtes des Guyanes constituent un vaste champ de recherche pour la communauté scientifique et cela pour différentes raisons :

- Par leur situation géographique, s'ouvrant vers l'Atlantique équatorial et les Caraïbes, ces côtes occupent une position charnière au cœur des grands systèmes intertropicaux de circulation atmosphérique et océanique.

- Par leur étendue (1 600 km entre l'Amazone et l'Orénoque) elles constituent un de plus vastes ensembles mondiaux de côtes basses et argileuses équatoriales. Situées sur une marge tectoniquement passive, ces côtes sont soumises à l'énorme sédimentation fine amazonienne : il en résulte une vasière littorale à échelle régionale, véritable « delta atténué de l'Amazone » (J. M. Rine & R. N. Ginsburg, 1985) qui, en Guyane, se prolonge jusqu'à environ 20 km du rivage et jusqu'à des fonds de 25 à 30 m.

- Sur les rivages, la dynamique littorale est très active. De vastes bancs de boue, séparés par des espaces inter-bancs migrent lentement et continuellement vers le NW sous l'action des courants et des houles. Il en résulte une alternance (dans l'espace et dans le temps) de côtes d'accrétion (formées essentiellement par des vases d'origine amazonienne) et de côtes d'érosion (formées par des sables d'origine locale ou par la mangrove en récession). Cette dynamique est spécifique des côtes guyanaises.

- Des vestiges d'anciens rivages sableux (« barres pré littorales » et cheniers) apparaissent soit parmi les savanes de la haute plaine soit à la lisière des marais de la basse plaine ou encore à l'intérieur de ceux-ci ; ils prouvent que la position du trait de côte a varié dans le temps et dans l'espace. Ces variations sont aussi confirmées par

la sédimentologie des plate-formes continentales de la Guyane (travaux de l'IGBA, Université de Bordeaux) et de l'Amazone (C. Nittrover et D. De Master, 1987). Identifier ces paléoenvironnements, comprendre leur évolution, équivaut à retracer l'histoire de l'environnement côtier actuel.

- Vu les similitudes des conditions physiques et des environnements, les résultats obtenus au niveau local sont représentatifs pour l'ensemble des côtes guyanaises.

Les études réalisées dans les Guyanes pendant des dernières décennies constituent une somme significative de connaissances qui dégagent de nouvelles perspectives. Depuis 1982, les recherches côtières menées par les chercheurs de l'ORSTOM s'orientent dans la continuité de ces acquisitions. Avec l'aide de la télédétection, elles acquièrent à présent des nouvelles données sur les systèmes naturels et sur leur interdépendance.

L'état des études

Des données multisources.

Les côtes de la Guyane ont fait l'objet de nombreuses études pendant les dernières décennies.

Aux recherches *géologiques*, faites sous l'impulsion des premières missions de photographies aériennes dans les années 1950-1960² (B. Choubert, 1956, 1957, 1961, 1962 ; H. Cruys, 1959 ; J. Barruol, 1959 ; J. P. Mazeas, 1961) suivent des travaux *géomorphologiques* et *sédimentologiques* concernant les formes et les formations côtières (M. Boye, 1959, 1963 ; M. Boye & H. Cruys, 1961 ; M. Sourdat & M. Delaune, 1970 ; L. R. Lafond, 1967 ; J. F. Turenne, 1978 ; Ph. Blancaneaux, 1981 ; S. Guillobez, 1979).

Le rôle majeur joué par la sédimentation amazonienne dans l'évolution des côtes des Guyanes devient évident (P. Bouysse, H. R. Kudrass & F. Le Lann, 1977 ; P. Bouysse et J. D. Roux, 1978 ; D. Jeantet, 1982 ; M. Pujos et G. S. Odin, 1986 ; J. M. Jouanneaux & M. Pujos, 1988 ; etc.).

Des nouvelles données sur la nature et la stratigraphie des dépôts préquaternaires ainsi que sur

les déformations tectoniques côtières résultent des sondages profonds effectués par le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) dans la zone de Saint Laurent-Mana-Les Hattes (Awala-Yalimapo): une importante accumulation tertiaire (paléocène³ et mio-pliocène⁴) d'environ 55 m d'épaisseur recouvre le socle précambrien⁵ dans la côte occidentale de la Guyane. L'accumulation est surmontée, en discordance, par des dépôts attribués au Tertiaire Terminal et par une fine couverture quaternaire (moins de 10 m d'épaisseur). Ce sondage met en évidence l'appartenance de cette partie de la côte au grand fossé de subsidence des Guyanes⁶.

L'analyse palynologique de dépôts holocènes⁷ (carotte de 22,40 m faite dans le marais Sarcelle, zone de Mana), appuyée sur des datations 14 C et sur l'étude des foraminifères, décrit les variations du rivage et de l'environnement côtier pendant les 9 000 dernières années (C. Tissot, M. R. Djuwansah et C. Marius, 1988).

La mosaïque des *formations végétales* de la plaine (*Atlas de la Guyane*, 1978) est moins étudiée que l'écosystème forestier sur socle⁸. J. Hooek (1968), J. J. De Granville (1976), G. Cremers (1982, 1986), D. Y. Alexandre & G. Cremers (1986) entre autres, s'intéressent aux savanes côtières, aux marais sub-côtières et à la végétation de bord de mer; M. Boye (1962), le CTFT (1972), J. P. Lescure (1977, 1980) et M. Rossignol (1972) analysent la mangrove. Quant aux *recherches pédologiques*, conduites par R. Boulet jusqu'en 1989, elles se poursuivent sous l'impulsion de M. Grimaldi (1989) qui travaille sur la physique et l'hydrodynamique des sols, de C. Grimaldi (1988) dont les recherches concernent la chimie des eaux et de B. Barthes (1988, 1989) qui s'occupe des problèmes agro-pédologiques, d'aménagement, et qui s'intéresse aux relations sols-végétation. Enfin, la notice et la carte des sols d'un secteur de référence de la savane guyanaise (Savane des Pères, zone de Sinnamary, 1/50 000, J. C. Favrot et al. - INRA CEMAGREF, 1987) ainsi que deux thèses récentes (H. Robain, 1989; L. Veillon, 1990) apportent des données nouvelles sur l'organisation des sols sur socle et sur sa bordure.

Le *réseau hydrographique* fait l'objet des études multisources qui se multiplient pendant les années 1960 (L. R. Lafond, 1967; Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCH), 1967; J. M. Brugiére, 1968; L. Berthois & J. Hoorelbeck, 1968; B. Bellesort & J. M. Martin, 1968; C. Migniot & B. Bellesort, 1967, 1970, 1989 a, 1989 b; Dubréuil, M. A. Roche & Hoeppepner, 1974; M. A. Roche, 1977, 1978; J. M. Fritsch, 1984; M. Lointier, 1984; M. Audige, 1986; J. M. Jouanneau & M. Pujos, 1987, 1988). Quant à l'*océanographie physique* (M. Rossignol, 1978), l'acquisition de données progresse actuellement sous l'impulsion du Programme NOE (Nord-Ouest Equatorial, C. Colin, ORSTOM, Cayenne).

La recherche récente au Centre ORSTOM

Les études interdisciplinaires faites depuis 1982 (R. Boulet et al. 1982; J. M. Fritsch, 1984; M. Lointier, 1986; M. Lointier & M. T. Prost, 1986, 1988; M. T. Prost 1985, 1986, 1987, 1988, 1989; M. T. Prost & M. Lointier, 1987; M. T. Prost, M. Lointier & B. Barthes, 1988; M. T. Prost, M. Lointier & G. Pannetier, 1989) s'appuient sur des travaux continus de terrain, sur des analyses de laboratoire et sur la photo-interprétation détaillée (clichés IGN et REGNAM).

R. Boulet, A. Chauvel, F.-X. Humbel et Y. Lucas (1982); C. Grimaldi (1988); B. Barthes (1988, 1989); H. Robain (1989); R. Boulet & M. Grimaldi (à paraître) et L. Veillon (1990) montrent l'importance des systèmes de transformation en pédologie dans l'évolution du modelé. J.-M. Fritsch (1982, 1984) d'une part, M. Lointier (1984, 1986) et M. Lointier & M.-T. Prost (1988) d'autre part, insistent sur le faible apport des fleuves guyanais à la sédimentation littorale. Les variations de la ligne du rivage et leur impact sur le développement de la mangrove et sur l'évolution des marais d'eaux saumâtres sont étudiées par M. Lointier & M.-T. Prost (1986). Ces variations, suivies au moyen des vues satellitaires (Landsat et Spot), sont également à l'origine des transformations rapides des plages et des cordons sableux (M.-T. Prost, 1989).

Tous ces résultats ont fait (et font) l'objet de rapports internes, de documents de diffusion au niveau local, ainsi que de publications ORSTOM et de communications à niveau international. De plus en plus l'environnement côtier des Guyanes est perçu comme un modèle spécifique d'évolution côtière en milieu tropical humide.

L'observation de la terre par satellite

Les corps célestes et objets terrestres émettent ou réfléchissent un rayonnement sous forme d'ondes électromagnétiques avec des longueurs d'onde bien déterminées. Quant aux lasers et aux radars, ils travaillent à partir des sources artificielles d'ondes électromagnétiques et sont, à la fois, émetteurs et capteurs⁹ (G. Vernet, 1989).

Les premiers satellites étaient dotés de trois caméras de télévision travaillant, chacune, dans des longueurs d'ondes spécifiques; un système plus perfectionné, avec des capteurs à balayage multispectral, est à présent employé. Les capteurs « photographient », au même instant, une même étendue terrestre¹⁰. L'énorme quantité d'informations radiométriques, « codées » par le satellite, sont ensuite restituées sous une forme visuelle à l'aide d'ordinateurs.

Depuis 1972, date du lancement de Landsat-1¹¹ par les Etats-Unis, l'observation civile de la Terre par satellite – qui a ouvert des perspectives inestimables pour la recherche – progresse continuellement: quatre autres Landsat furent successivement mis en orbite¹² pour obtenir des images plus fines.

Le lanceur européen Ariane a mis en orbite en février 1986, à partir de la base spatiale de Kourou, le premier satellite français d'observation de la Terre, Spot-1. Par rapport aux précédents Landsat, Spot-1¹³ et ses successeurs¹⁴ apportent, outre une meilleure résolution¹⁵, une vision stéréoscopique¹⁶ qui permet d'appréhender le relief.

Les données disponibles à l'ORSTOM

Implanté en janvier 1988, l'Atelier de Télédétection du Centre ORSTOM¹⁷ met à la disposition des organismes de recherche un dispositif hautement performant pour l'observation de l'environnement guyanais. L'approche (écologique et dynamique) diffère de celle des photographies aériennes « classiques ». En effet :

- s'il est vrai que le satellite élimine en partie les détails¹⁸ (à cause de sa résolution), il est également vrai qu'il offre, grâce aux capteurs, un énorme avantage: des vues d'ensemble synchrones et homogènes sur de vastes étendues.

- les traitements des images recomposent, avec des éléments choisis par l'utilisateur, des réalités thématiques, récentes et cohérentes.

- la répétitivité de l'enregistrement fait dans les mêmes conditions (passage du satellite à la même heure locale au-dessus du même lieu) rend les comparaisons quantitatives et qualitatives très fiables.

- grâce aux tranches de longueurs d'onde, la vue satellitaire élargit l'analyse en dehors du visible (par exemple, dans le proche infrarouge pour les canaux 6 et 7 de Landsat TM).

L'utilisation des images doit viser à exploiter au maximum ces avantages spécifiques.

Les scènes

Les données reçues par les stations de réception sont commercialisées sous la forme de « scènes » (fig. 1 et 2). Elles sont disponibles sur papier, sur photographies panchromatiques de contrôle de qualité (Quick-Look) ou sur bande magnétique. Une scène Spot-1 représente une bande d'environ 60 km sur 60, conformément à une grille prédéterminée appliquée à la surface terrestre. L'Atelier du Centre ORSTOM dispose à présent de trois scènes Landsat (octobre 1976),

deux scènes Spot (octobre 1986) et de deux quarts de scène Landsat TM (juillet 1988).

* Les scènes Landsat d'octobre 1976 (80 m de résolution) sont les suivantes: Landsat 244 056, couvrant la région de Cayenne-Iracoubo (30 octobre); 245 056 est centrée sur l'estuaire du Maroni (31 octobre) et 245 057, sur Maripasoula (31 octobre). Les vues ont été prises avec un capteur MSS¹⁹, une élévation solaire de 50 degrés et un azimut de 120 degrés. Elles ont de bonne définition, avec très peu de nuages.

689 339 (région de Sinnamary, fig. 5). Ces scènes ont été acquises par HRV (haute résolution visible) en mode « multibande » (couleur)²² et avec une résolution de 20 m.

Spot 1 décrit une orbite circulaire, héliosynchrone, dont l'altitude moyenne est de 832 km: il repasse tous les 26 jours exactement à la verticale des mêmes points; durant ce cycle, il observe, en vision verticale, au moins une fois chaque point de la Terre²³. Un avantage de Spot est que le dessin de ses orbites est tel qu'il



**fig.1: Côte de la Guyane
entre le Fleuve Mahury et Kourou.**

**Reproduction du canal 2
de la scène Spot du 20 octobre 1986.**

La scène a été acquise par HRV2 avec un dépointage du capteur de 23° et l'angle d'incidence de 27°34' à 11h16 H. L.
Mode XS, canaux 1,2 et 3. Résolution: 20 m. Largeur et longueur de la scène: 74 x 60 Km. Qualité: couvert nuageux peu important sur les zones forestières.

* Les scènes Landsat TM²⁰ du 18 juin 1988 (30 m de résolution) couvrent la zone de Petit Saut et la bande côtière entre Kourou et Iracoubo (fig. 3). Ces images, avec 7 canaux²¹, sont très performantes. Les prises de vues de la bande côtière ont été faites vers 9 heures du matin, à environ 1 heure après la pleine mer (Sinnamary: HNM à 8: 00 H, amplitude de 2,20 m).

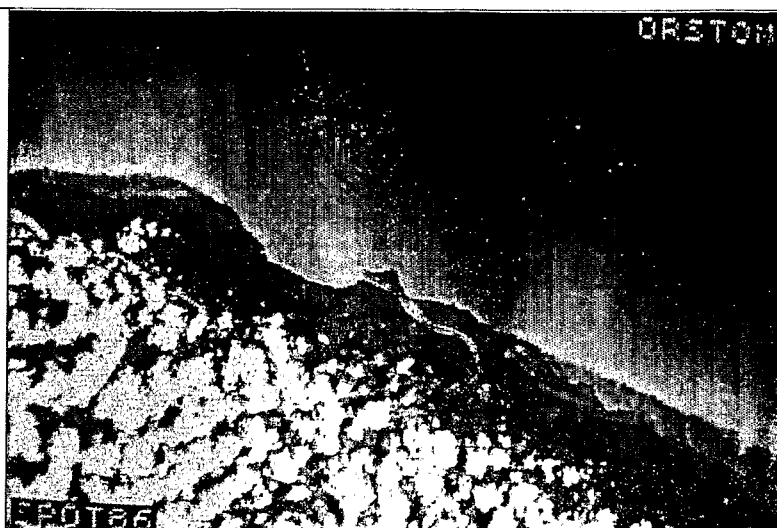
* Les scènes Spot-1 du 20 octobre 1986 sont: 691 340 (région de Cayenne-Kourou, fig. 4) et

permet la vision stéréoscopique: une même zone de la terre peut être observée sous deux angles différents, à deux ou trois jours d'intervalle.

A partir de la Guyane les consultations catalogues pour Spot sont facilitées par l'accès – par réseau Transpac – au serveur BRAMS de Toulouse, ce qui nous a permis de suivre, à l'Atelier de Télédétection du Centre ORSTOM, l'évolution des scènes acquises pendant la période correspondante à la demande de programmation.

fig. 2: Côte de la Guyane entre la crique Malmanoury et l'embouchure de l'Iracoubo.

Reproduction du canal 2 de la scène Spot du 20 octobre 1986.



La scène a été acquise par HRV1 avec un dépointage du capteur de 20° et l'angle d'incidence de 23°01' à 11h16 H. L.
Mode XS, canaux 1, 2 et 3. Résolution : 20 m. Largeur et longueur de la scène : 70 x 60 Km. Qualité : couvert nuageux important sur les zones forestières.

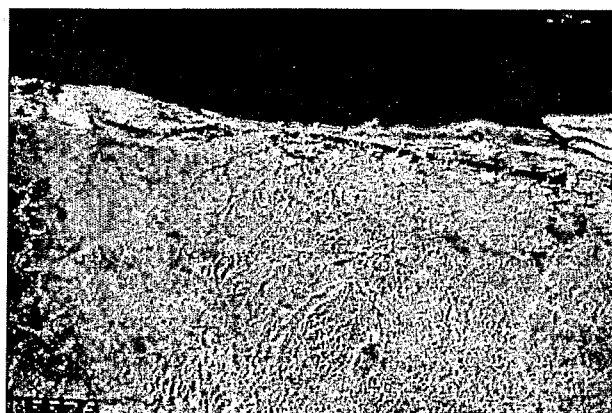


fig. 3: Image Landsat TM (juin 1988).

Bande côtière entre Iracoubo et le CSG.

La scène est centrée sur la commune de Sinnamary.
L'image trichrome est réalisée avec les canaux 1, 4 et 5 de TM.

fig. 4: Image Spot 1 (20 octobre 1986).

Côte en érosion dans la zone de Kourou.

La scène a été acquise par haute résolution visible, en composition colorée classique. Résolution : 20 m.
La côte à mangrove est en érosion. Plus en retrait, des cheniers, disposés parallèlement au rivage actuel, soulignent l'emplacement d'un ancien rivage.



fig. 5: Image Spot 1 (20 octobre 1986).

Résolution : 20 m



La scène a été acquise par haute résolution visible en composition colorée classique.
 Le traitement de l'image met en relief la partie frontale du banc de Kourou, à l'est, et le banc d'Iracoubo, à l'ouest.
 Entre les deux, la côte est en érosion, devant l'embouchure du fleuve Sinnamary.
 Au moment de l'acquisition, la rive droite du fleuve était très attaquée par les vagues.
 L'image met également en relief l'état de la mer qui souligne les limites extérieures des bancs de vase.

Unité centrale, périphériques et logiciels

L'unité centrale du Centre ORSTOM est le Pericolor 2000, ordinateur avec 6 mégaoctets de mémoire vive et un disque dur de 20 mégaoctets. Un lecteur de disquettes 5 1/4 pouces permet l'échange d'information avec l'extérieur.

Le clavier est muni d'une boule roulante (« souris »). Un moniteur couleur permet la reconstitution en haute résolution d'une surface de 512 x 512 pixels.

Les périphériques correspondent à un streamer (lecteur de cassettes magnétiques), un dérouleur de bandes (1600/6250 BPI), une tablette graphique (46 x 30 cm), une imprimante noir et blanc, une imprimante couleur à jet d'encre et une carte d'extension pour couplage avec un mini-ordinateur.

Quant aux logiciels, l'Atelier possède, outre ceux pour le traitement d'images, des logiciels spécifiques à la télédétection (« Géopérior »), avec de nombreuses fonctions de visualisation et de traitements.

Définition des besoins

La rentabilité des vues satellitaires est impérative, à cause du coût relativement élevé de l'acquisition des données ²⁴ :

- de la part de l'organisme de recherche, il est fondamental qu'il estime, au préalable et très clairement, de quelle manière la télédétection s'insère dans ses objectifs scientifiques (à moyen et à long terme).

- de la part des spécialistes; il faut non seulement le savoir-faire pour un véritable travail d'analyse (comparaisons de canaux, confrontations avec les informations de terrain, traitements d'images, etc.), mais aussi une grande disponibilité pour la gestion des données et pour la transmission du savoir ²⁵. Ce sont eux qui « préparent le terrain » en établissant une grille de critères dans le choix des scènes à acquérir (zones d'intérêt en fonction des objectifs des recherches en cours et en préparation, performances des capteurs, bonne résolution, identification des défauts techniques, etc.) ²⁶. Ils guideront ensuite leurs collègues dans l'exploitation des scènes

(quelle est la part des enregistrements qui se prête aux études? Comment les voit-on le mieux? Quel type de traitement sera le meilleur pour obtenir telle réponse? ...). La collaboration interdisciplinaire devient alors effective.

— de la part de l'utilisateur individuel, il est évident qu'il doit s'investir (pour mieux connaître la nature de l'information, son utilité et ses limites) sans oublier pour autant que la télédétection ne résout pas tout et que le travail de terrain reste indispensable, sauf exceptions (accès extrêmement difficile, environnement très défavorable...); dans ce cas, un traitement non supervisé sera proposé.

Le traitement des données

Une image de télédétection se présente comme un ensemble d'échantillons radiométriques de la scène observée, donc un grand nombre de valeurs radiométriques²⁷. En règle générale on utilise plusieurs images de la scène, prises dans des longueurs d'onde différentes ou/et à des dates diverses. Le traitement d'une image consiste à exploiter cette masse de données considérable.

Plusieurs traitements appuient les recherches en géomorphologie côtière:

— transformation géométrique de l'image de base (Landsat 1988), en conformité avec les nouvelles cartes topographiques IGN. Le but de l'opération est la cartographie détaillée;

— traitement supervisé des modifications morphologiques des rivages (suivi de l'emplacement des bancs de vase et des vitesses de leur migration; mesures de l'étendue des zones intertidales exposées en marée basse de vive eau; analyses morphologique et morphométrique de ces zones; emplacement et évolution des côtes sableuses; progression des secteurs en accumulation et en érosion; déviation des estuaires; etc.). Par exemple, la technique de isocontours (tracé d'une ligne d'égale réflectance) a été utilisée pour déterminer la surface des bancs de vase (M. Lointier & M.-T. Prost, 1988);

— comparaison multitemporelle des scènes Landsat (octobre 1976) et Spot (1986);

— composition colorée classique (fausses couleurs) autour d'un thème;

— traitement supervisé des formations végétales et édaphiques côtières, avec calcul des index de végétation et de brillance. Ceux-ci sont des calculs simples, opérant sur 2 canaux. Ils constituent un premier type de traitement, améliorant la lisibilité de l'image;

— traitement non supervisé pour la classification thématique des mangroves et des espaces inter-mangroves. Les résultats obtenus jusqu'à présent sur scènes Spot ne sont pas totalement satisfaisants car les canaux 1 et 2 sont très semblables dans le thème « végétation »; la seule combinaison possible ne peut se faire que dans le proche infrarouge (canal 3)²⁸. Néanmoins, un traitement thématique fait sur la zone d'Iracoubo (M. Lointier & M.-T. Prost, 1988) donne une réponse globale pour la mangrove et différencie nettement les zones de bas-fonds;

— l'analyse de la composante principale. L'idée de base est statistique et consiste à concentrer dans un petit nombre de valeurs un très grand ensemble de données pour obtenir une vue synthétique et plus contrastée de l'image (par exemple, concentrer dans un seul canal de Landsat le maximum de l'information contenue dans les autres canaux);

— traitements de rehaussement de dynamique en visée oblique sur la mer. Ce traitement, appliqué avec Spot-1 à la zone de Sinnamary-Iracoubo (M. Lointier & M.-T. Prost, 1988) a fourni des paramètres dynamiques sur l'état de la mer: des « trains de houle » de longueur d'onde voisine du kilomètre ont été détectés devant les secteurs en progradation (partie frontale du banc de Kourou; banc d'Iracoubo). Par contre, devant l'embouchure du Sinnamary, en érosion, les longueurs d'onde sont plus courtes.

Dynamique des rivages

Des changements morphologiques des rivages, à très court terme, constituent le trait essentiel de la dynamique côtière actuelle et ont des répercussions importantes sur les espaces paraliques de la basse plaine.

Morphodynamique des rivages guyanais

Le trait fondamental de la morphodynamique côtière est l'alternance des zones d'accrétion – où il y a formation et migration de grands bancs de boue – et des zones d'érosion ou de non-déposition.

Accumulation et érosion

Une partie de la charge sédimentaire en provenance de l'Amazonie est à l'origine de très vastes bancs de boue qui se prolongent sous la mer jusqu'à environ 20 à 40 km du rivage et jusqu'à 20 à 30 m de fond.

Le système s'articule à trois niveaux :

- le « meso-système » de migration de la plate-forme interne déplace les bancs vers le NO, sous l'action de la houle²⁹ et des courants³⁰ ;

- le « macro-système » amazonien de dispersion océanique intègre le précédent ;

- le « micro-système » de façonnement et de transport est plus « visible » (zones intertidales, panaches turbides, mer calme ou agitée autour des bancs, etc...) et sous la dépendance des paramètres spécifiques (courants de dérive littorale, coefficient et courants des marées³¹, etc.).

Des bancs de vase « typiques » ont été décrits au Surinam avec 50 à 60 km de longueur, 10 à 20 km de largeur et environ 5 m de hauteur (Nedeco, 1968; E. Allersma, 1971; J. M. Rine & R. N. Ginsburg, 1985; généralement orientés à 24° par rapport à la côte et ayant un profil convexe ou asymétrique (un côté abrupt tourné vers le NO et un côté plus doux tourné vers le SE).

En Guyane française il existe deux bancs de vase situés entre les fleuves Oyapock et Mahury et cinq autres entre l'île de Cayenne et l'embouchure du Maroni. Les limites des bancs au large (20 à 25 km du rivage) coïncident avec celles de la vasière littorale³².

La délimitation des parties intertidales des bancs par télédétection ne pose pas des problèmes majeurs : la réflectance relativement homogène de ces vases en font un objectif radiométrique facilement identifiable³³. Par exemple, celles des bancs de Cayenne, Kourou et Iracoubo, exposées le 20 octobre 1986 pendant la marée basse de vive eau, étaient respectivement de 15 km² (fig. 6), 65,9 km² et 28,6 km² (fig. 7).

Les espaces inter-bancs sont des zones d'érosion (ou de non-déposition) tant dans des côtes à mangrove que dans des côtes sableuses. En effet, les palétuviers n'empêchent par le recul du rivage; il suffit d'un survol du littoral pour se rendre compte que dans les secteurs en érosion, les grands *Avicennia* sont brisés et arrachés par les houles, puis accumulés le long de l'estran.

Les côtes sableuses ont une morphologie variable :

- Quand l'apport sableux est abondant, il y a formation de côtes rectilignes. Sous l'action du déferlement, du jet de rive et du flot de retour, les formes des plages sont très changeantes; les plages de Remire, Montjoly (fig. 11) et Zéphyr se sont considérablement modifiées au cours des derniers six mois. Leur profil actuel est caractérisé par une forte dissymétrie entre un front relativement abrupt (tourné vers le mer) et un revers en pente douce (tourné vers l'intérieur des terres). Le front se forme par suite de démaigrissements de la plage alors que la pente du revers est liée à « l'étalement du sable sous l'effet de masses d'eau qui perdent progressivement de leur compétence » (M. Boye, 1973).

- Le jet de rive donne naissance à des éventails sableux d'arrière cordon. Ils indiquent nettement un rivage en érosion, avec abaissement de la

fig. 6 : Scène Spot (20 octobre 1986)
Banc de vase de Cayenne.

Le traitement par isocontours permet de faire la délimitation de la zone vaseuse intertidale dans le canal 1 et d'en connaître la surface : dans le cas de Cayenne, elle est alors de 11,5 km² (M. LOINTIER & M.T.PROST, 1988).



fig. 7 : Banc de Kourou
Scène Spot (20 octobre 1986).

Le traitement par isocontours met en relief la partie intertidale du banc de Kourou. Entre 1976 et 1986, la côte de Kourou a été le siège d'une progradation d'environ 2 km. Actuellement, le banc de Kourou a migré vers l'ouest ; la zone de Kourou est en érosion et la partie envasée s'étend entre le CSG et l'embouchure du Sinnamary.

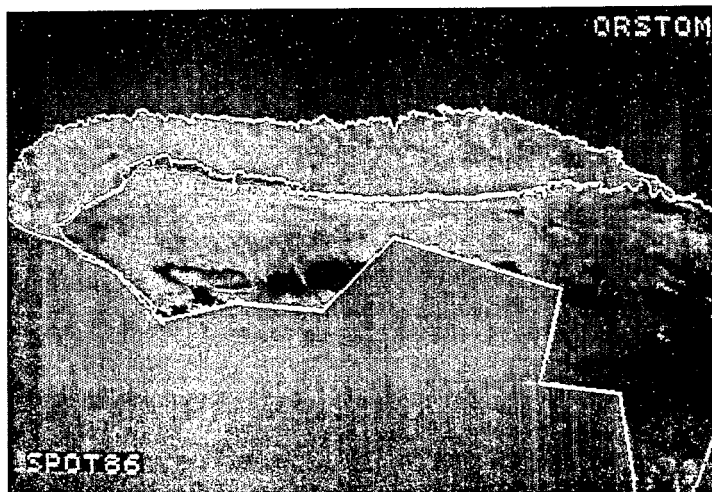


fig. 9 :
Recul de la côte entre Cayenne et Kourou.
Comparaison des scènes LANDSAT MSS (1976)
et SPOT 1 (1986)

Le traitement fait apparaître en jaune le rivage de 1976. La côte a reculé d'environ 2 Km sur sa plus grande extension. En revanche, sur la rive droite du fleuve Kourou, la côte a progressé vers le large.

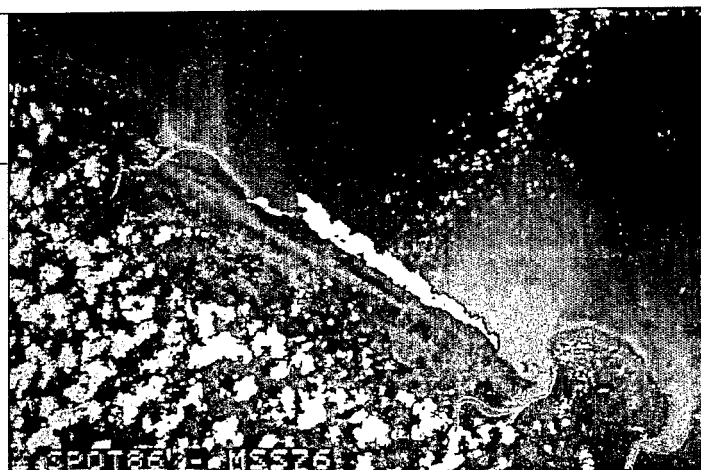


fig. 9 :
Avancée de la côte dans la zone de Kourou.
Comparaison des scènes LANDSAT MSS (1976)
et SPOT 1 (1986)

Le traitement des images par superposition permet de quantifier la progression de la côte dans la zone de Kourou entre 1976 et 1986, de l'ordre de 2 km.



fig. 10:
Transformations de l'embouchure du Synamary.
Comparaison des scènes LANDSAT MSS (1976),
SPOT 1 (1986) et LANDSAT TM (1988)

Le traitement prouve l'érosion de la zone de Synamary pendant les 12 dernières années.
Le rivage de 1976 est en jaune, celui de 1986 en rouge et celui de 1988 en vert.

fig. 11 :
Plage de Montjoly.
(janvier 1990)

La plage de Montjoly présente un profil transversal dissymétrique, avec la zone intertidale en pente relativement abrupte et l'arrière plage en pente douce.



crête du chenier. Ces formes sont très souvent associées à des micro-falaises formées sur le front du chenier.

– Quand l'apport de sable se raréfie et l'érosion augmente, le chenier tend à disparaître: la côte prend alors une allure très caractéristique, échan-crée, en guirlande, avec une succession de petites anses³⁴ et des pointes. L'érosion est sévère: les vagues pénètrent dans les mini-baies et déferlent sur le rivage. Cette morphologie, très révélatrice, apparaît très clairement sur les photographies aériennes à l'intérieur des terres (par exemple, dans la zone d'Organabo), indiquant la position d'un ancien rivage et la dynamique de sa formation.

Variations morphologiques multitemporelles vues par télédétection.

Au contraire d'autres méthodes employées auparavant, la vision satellitaire permet une quantification exacte des variations multitemporelles des rivages. Cela est d'autant plus important que l'instabilité des rivages rend très faible la probabilité d'une préservation interannuelle des dimensions des surfaces intertidales. L'établissement d'un bilan morphologique et sédimentaire – ainsi que l'appréciation des « tendances » des secteurs côtiers – nécessite une comparaison fiable sur quelques années d'intervalle.

Deux procédés sont utilisés:

– si on ne dispose que d'une image de la zone concernée, elle fait l'objet:

- d'un traitement par isocontours de la surface intertidale exposée en marée basse, pour bien situer ses limites et calculer sa surface;
- des traitements supplémentaires (composition colorée, histogrammes bidimensionnels, index de brillance et de végétation, etc) de la partie « continentale » contiguë à la surface de vase nue pour situer, comparer

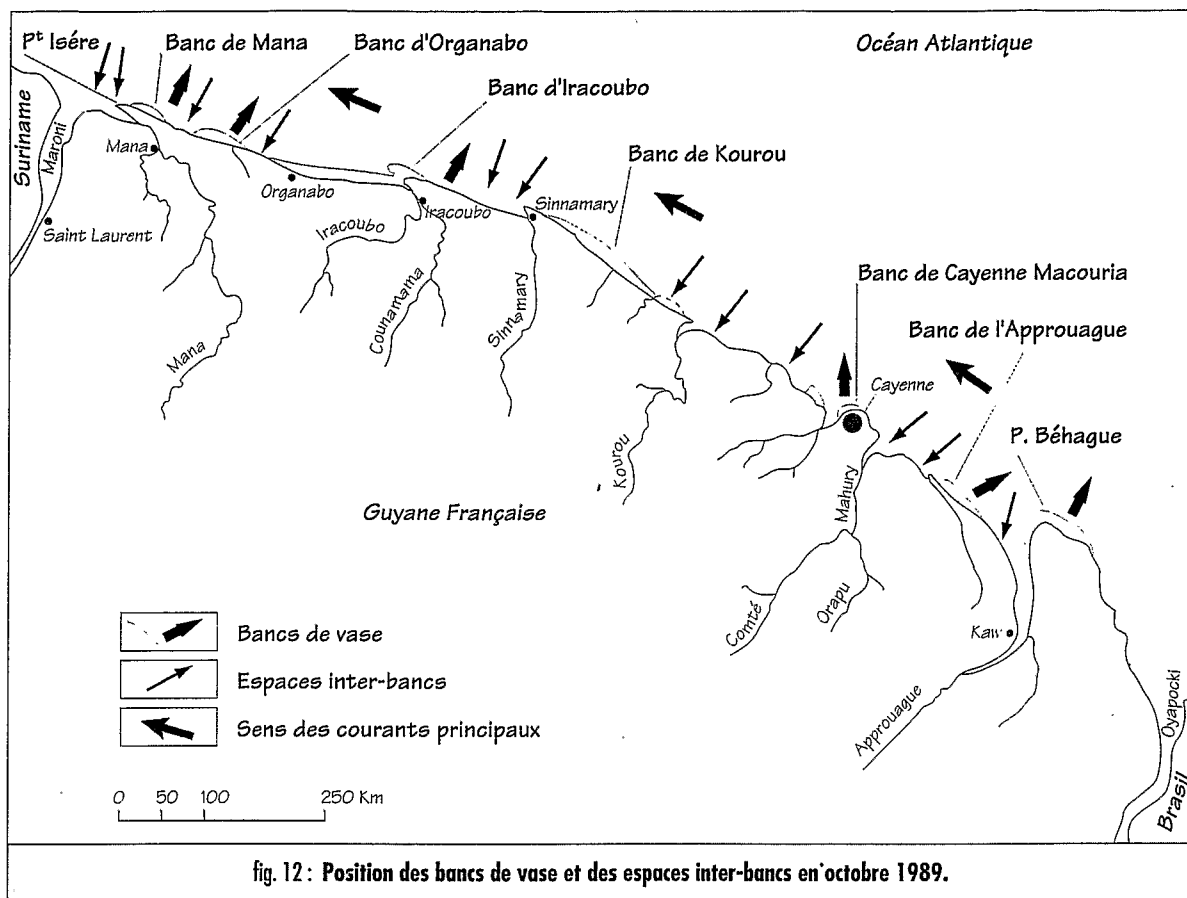
et distinguer les autres thèmes (classes de mangroves, bas-fonds hydromorphes, chevelu de chenaux de marée, etc.);

- d'un suivi détaillé de terrain (levées et survols avec prises de photos) pour accompagner l'évolution du secteur après la prise de vue satellitaire.

L'actuel dévasement de l'île de Cayenne a ainsi été suivi entre octobre 1986 – la surface intertidale du banc couvrait 15,9 km² – et décembre 1989 (le banc de vase, très réduit, se situe entre la côte occidentale du Montabo et la rivière de Cayenne). Simultanément il y a eu l'engraissement des plages et leur érosion partielle.

– pour les secteurs côtiers disposant d'au moins deux des vues satellitaires à superposer, de nature et des pixels différents, est appliqué le traitement « d'anamorphose géométrique »: après réduction des images à une même échelle, entre trois et huit amers communs sont utilisés afin d'obtenir la superposition.

Ce traitement a révélé que la côte à mangrove entre Cayenne et Kourou a reculé à une vitesse moyenne de 200 m/an (environ 2 km au total) entre 1976 et 1986 (fig. 8) alors que pendant la même période, l'évolution du rivage entre Kourou et Sinnamary a été diamétralement opposée, avec une progression analogue (2 km). Les données satellitaires ont démontré, sans équivoque, que le secteur de l'embouchure du Sinnamary est instable et fragile: environ 2 km de rivage ont disparu en 10 ans (fig. 9) fragilisant la rive droite de l'estuaire; celle-ci s'est rompue à 4 km de son embouchure, à la mi-87. Ce processus est toujours actif: le rivage a reculé dans les vingt derniers mois (fig. 10); la brèche a actuellement environ 1,5 km de largeur et l'intrusion saline dans l'estuaire progresse vers l'amont. Toutefois, le banc de Kourou a également migré vers l'ouest et sa partie distale se trouve à l'embouchure du fleuve. Plus à l'ouest, s'étend le banc d'Iracoubo, dont les larges flèches vaseuses, disposées parallèlement au rivage actuel, sont découpées par de larges chenaux



de marée. La surface gagnée à la mer en 10 ans est ici de 14 km². A présent l'envasement se poursuit sur la rive gauche de l'embouchure et le long de la côte jusqu'au lieu-dit Flèche (environ 8 km à l'est d'Organabo)³⁵.

La migration des bancs

La spécificité de la dynamique côtière des Guyanes est la migration des bancs de vase le long des côtes : les sédiments sont érodés dans les parties distales des bancs et accumulés dans les parties frontales (P. Augustinus, 1978).

Les déplacements ont un aspect saisonnier en rapport avec les circulations atmosphérique et océanographique : ils sont plus forts entre janvier et mars (petite saison des pluies) et plus faibles

entre août et octobre (saison sèche). Dans l'ensemble, les vitesses de migration calculées au Guyana (P. Augustinus, 1987 ; D. Eisma, 1988 ; J. R. K. Daniel, 1989), au Surinam (Nedeco, 1968 ; P. Augustinus, 1987, 1978, 1980, 1989 ; D. Eisma, 1988) et en Guyane (J. M. Froidefond et al. 1985) sont de l'ordre d'un km/an (respectivement de 1,1 ; 1,5 et 1 km/an)³⁶.

A l'échelle du banc, par exemple, plus l'angle d'approche des vagues dominantes est petit, plus grande sera la longueur de la zone intertidale et plus rapide sa vitesse de déplacement (P. Augustinus et al., 1989). Des discontinuités s'observent également entre la migration des parties frontales et distales : pendant la période 1979-1984, par exemple, le front du banc de Kourou s'est déplacé beaucoup plus vite que sa

partie arrière (respectivement 1340 m/an et 480 m/an. J. M. Froidefond et al., 1985). Il peut même arriver qu'une partie du banc soit « stabilisée » pendant un certain temps si recouverte par une mince couche de sable fin (P. Augustinus et al., 1984).

Aux limites externes des bancs ³⁷, vers 25 à 30 m de fond, le mouvement orbital des houles ³⁸ est capable de produire un remaniement et une érosion des fonds vaseux dès que la houle commence à y « sentir les fonds, à environ la moitié de sa longueur d'onde. Mais comme la vitesse critique de l'érosion dépend de la nature minéralogique et granulométrique des sédiments (C. Migniot, 1989), il est bien évident que cette vitesse critique subira des transformations en fonction de la nature des vases.

Les modalités de migration dépendent autant des processus côtiers que du comportement des vases transportées.

États physiques des vases

En suspension dans les eaux marines et fluviales les vases ³⁹ sont soumises à la floculation et forment des agrégats (« flocons »). Ceux-ci, très riches en eau, ont un réseau très lâche. « Décantées sur les fonds, les vases seront soumises à un tassement très long et leur cohésion variera rapidement en fonction de leur teneur en eau présentant tous les états physiques possibles : liquides, visqueux ou solides » (C. Migniot, 1989).

En Guyane, les vases marines et estuariennes à dominante kaolinique, se tassent difficilement

lorsqu'elles ne sont pas mélangées à des silts ⁴⁰ ou des sables (ces derniers augmentant la rapidité du tassement).

En général, la concentration moyenne dans les dépôts, après plusieurs mois, ne dépasse pas 300 g/l (densité 1,18), avec un gradient de concentration entre la surface et le fond. En milieu marin, la salinité des eaux affecte peu la cohésion et la rigidité de la vase; leur viscosité, par contre, sera de 2 à 3 fois plus forte en eau de mer qu'en eau douce. Leur suspension, en fonction de tous ces paramètres, peut prendre l'apparence d'un fluide visqueux (qui s'écoule facilement), ou d'un fluide plastique (ayant la consistance d'un gel « sling-mud » ⁴¹ ou d'une crème), et aboutir enfin à un véritable solide (pouvant conserver une forme propre après façonnement).

Les vases des zones intertidales

Les vases ont un rôle géomorphologique important dans l'évolution des parties intertidales des bancs (mudflats). Dans les parties frontales des bancs les vases fluides à semi-fluides (« sling-mud ») ont le pouvoir d'amortir les vagues: une « surface lisse en miroir » se forme en mer, à l'approche immédiate du banc. Les vagues y deviennent de type solitaire et l'accumulation est accrue, notamment pendant la marée basse. Lors de la marée haute suivante, la mixture se fluidifie partiellement sous l'effet de l'agitation induite par le passage des crêtes des vagues et « les sédiments sont transportés un peu plus loin, atteignant

	Marines (Guyane)	Estuaire du Mahury
% < 40 μ	0	2
Médiane (μ)	0,55	0,9
% d'argile	60	?
% CaCO_3	4	4
% M. O., humates	6	2,5
% Fe	7	?
% kaolinite	65	60
% illite	35	40

Tableau 1: Vases marines (Guyane) et estuariennes (fleuve Mahury) (C. Migniot, 1989)

alors des positions légèrement plus hautes ». (P. Augustinus, 1978). Après un temps de repos plus au moins long les vases subissent, pour une même concentration de sédiments secs, une augmentation de leur cohésion ou de leur rigidité.

Ces modifications sont encore plus significatives lorsque les sédiments s'exhaussent. « Déposées hors de l'eau, les vases pourront subir à l'air une perte progressive d'une partie de leur eau et l'apparition en surface d'un croutage avec création de fentes de dessiccation hexagonales tandis que les couches plus profondes restent relativement fluides » (C. Migniot, 1989).

Ces processus de consolidation sont très courants en Guyane et peuvent être parfaitement suivis au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la partie frontale du banc vers sa partie distale: les sédiments deviennent semi-consolidés et consolidés. La mangrove les colonise petit à petit, notamment quand les vases dépassent le niveau des marées hautes ordinaires. Battu par les vagues le banc devient plus étroit, avec une surface irrégulière et découpée; des blocs de vase s'en détachent et donnent naissance à des galets de boue qui jonchent la plage avoisinante.

Toutes conditions égales, l'érosion est forte dans les parties distales des bancs et maximale dans les espaces inter-bancs, tant sur les côtes à mangrove (l'est du Mahury, côte entre Tonate et Kourou, estuaire du Sinnamary, etc.) que sur les côtes sableuses (presqu'île de Cayenne, plages de Kourou, ouest de l'Iracompapy, partie terminale de la pointe Isère, plage de Awala-Yalimapo, etc.).

Notion de cycle et périodicité

La notion de cycle a été appliquée aux côtes des Guyane en tant que phénomène sédimentaire (envasement/dévasement) réglé par une exacte périodicité et ayant comme corollaire des modifications saisissantes dans l'environnement. Cela signifie, en simplifiant, qu'il était possible de prévoir, avec une extrême précision, les transformations des rivages et/ou des secteurs côtiers. Le modèle a été largement adopté et on parle des cycles de 22 ans, de 30 ans, de 36 ans, etc.

A l'idée de cycle nous préférons celle des « phases » d'accumulation et d'érosion car, par définition, un cycle est fermé, chaque nouveau cycle répétant le précédent. Or, dans la nature « la conception du temps est celle d'une suite de discontinuités – qui correspondent à des ruptures – elles-mêmes en rapport avec des seuils » (A. Reynaud, 1971).

Prenons trois exemples:

– Le premier concerne la dynamique côtière au Surinam central entre 1947 et 1981 (soit 34 ans ou un « cycle » – P. Augustinus et al., 1989). Les taux nets d'accrétion et d'érosion dans les périodes consécutives ont été additionnés pour chaque kilomètre et dessinés de chaque côté d'une ligne de référence « zéro ». Le résultat montre une ressemblance avec une onde stationnaire comportant des « nœuds » et des « ventres ». Dans ceux-ci, les changements sont importants, alors que dans les « nœuds » les modifications sont relativement faibles. Dans l'ensemble, des différences significatives dans la magnitude des changements sont observées, au même moment, entre les fleuves Surinam et Coppename.

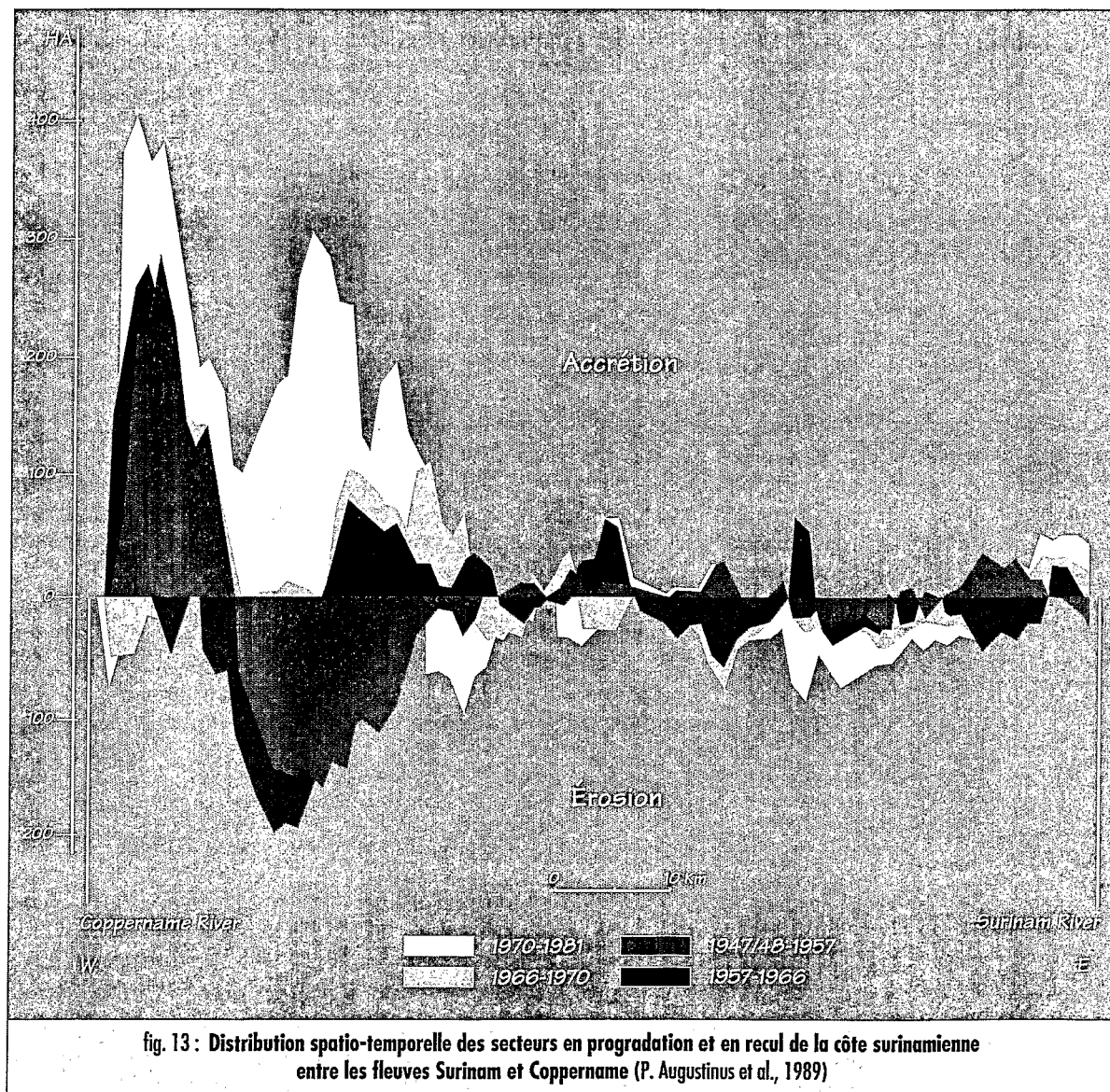
– L'étude de la migration triséculaire des bancs au long des côtes des Guyanes (1650-1950, rapport Nedeco) a montré que dans certains cas, « l'histoire » d'un banc est continue et peut être suivie; dans d'autres cas, en revanche, un banc peut « s'arrêter » ou même « disparaître ». Par exemple, c'est une de ces « disparitions » qui expliquerait, au Surinam, le long intervalle qui sépare les bancs situés respectivement au nord du fleuve Coppename et sur la côte de Coronie; les causes du phénomène ne sont d'ailleurs pas expliquées.

– Une analyse analogue à celle de Nedeco a été faite pour les côtes de la Guyane (1700-1986. G. Pannetier, DDE, 1987): les périodes d'envasement pour l'île de Cayenne, par exemple, sont irréguliers⁴².

Les modifications des surfaces intertidales des bancs ont été suivies entre 1985 et 1989 grâce aux

travaux de terrain, à l'interprétation des photographies aériennes, aux survols à basse altitude et aux documents satellitaires. Les six bancs de vase présents sur la côte en 1985 (J. M. Froidefond, M.-T. Prost & R. Griboulard, 1985) ont migré vers l'ouest à des vitesses variables (M. Lointier & M.-T. Prost, 1988) et se sont modifiés. Quelques unes des ces surfaces restent imposantes (banc de Kourou) ou

appréciables (banc d'Iracoubo). D'autres se sont considérablement réduites (banc de Cayenne), transformées (banc du marais Sarcelle) ou disparues (ex-banc Acoupa/Mahury). L'importante réduction du banc de la presqu'île de Cayenne dans les quatre dernières années ⁴³ a été accompagnée, depuis 1988, d'une rapide extension de l'envasement sur la côte entre la pointe Macouria et les environs de Tonate.



Espaces paraliques côtiers et sub-côtiers

Les écosystèmes des mangroves et des marais dominant le paysage de la basse plaine côtière. Ils se développent sur les argiles marines DEMERARA et subissent l'impact des changements morphodynamiques de la ligne du rivage.

Comportement de la mangrove de front de mer

La mangrove, « ensemble des formations végétales arbustives et/ou buissonnantes qui colonisent les zones intertidales marines ou fluviatiles » (C. Marius, 1985), est la plus importante formation végétale côtière en Guyane, occupant d'une part les rives des estuaires et les berges des fleuves soumises à l'onde mécanique de la marée et, d'autre part, la façade maritime⁴⁴.

L'espèce dominante colonisant les vases sur le front de mer est l'*Avicennia germinans* (ou *Avicennia nitida*)⁴⁵ alors que dans les estuaires et dans les basses vallées s'épanouit le *Rhizophora mangle*⁴⁶. L'*Avicennia* s'adapte aux sols particulièrement instables de la frange littorale par ses longues racines traçantes rayonnant autour du tronc (jusqu'à 25 m de longueur) et par l'anatomie spéciale des racines aérifères, les pneumatophores⁴⁷ (J. N. Salomon, 1978) qui, pendant la marée haute, assurent le maintien d'une teneur d'oxygène de 10 à 20 %⁴⁸. Quant aux *Rhizophora* leur système d'ancrage par les racines échasses est d'une parfaite adaptation au milieu, assurant également l'oxygénation du système racinaire souterrain.

Pour C. Marius (1985) le balancement de la marée est le facteur principal pour le développement de la mangrove, mais « l'intensité des mouvements de la mer doit être fort réduite » (J. N. Salomon, 1978). Dans le cas de la Guyane, avec un régime mésotidal (marnages entre 2 et 3,2 m) et une côte basse et plate, ces conditions sont, à priori, bien remplies. Toutefois, l'impact

des modifications morphologiques de la façade maritime complique considérablement le tableau.

Peut-on parler d'une zonation de la mangrove littorale en relation avec l'évolution du rivage ?

Dans les secteurs en accrétion il y a, en effet, une disposition en lanières tant au long de la côte que vers le large. On y rencontre (J. J. de Granville, 1976⁴⁹) :

- sur les vases crémeuses de l'estran et sur les berges des chenaux de marée, une disposition digitée de la mangrove pionnière (*Laguncularia racemosa* et *Avicennia germinans*, espèces souvent accompagnées par *Spartina brasiliensis* qui forme des tâches orbiculaires caractéristiques).

- sur les vases intertidales exhausées, la mangrove basse et jeune dominée par *Avicennia germinans* (arbres de moins de 10 m de hauteur) et avec quelques *Laguncularia racemosa*.

- sur des cordons sableux séparant la mangrove de la mer, une végétation rampante formée par *Ipomoea pes caprae*, *Vigna luteola*, *Canavalia maritima*, *Sesuvium portulacastrum*, *Mariscus ligularis*, etc. Dans les endroits plus abrités, à la limite des marées, poussent les grands arbustes (*Hibiscus tiliaceus*) et, plus rarement, quelques cactées.

- vers l'intérieur, sur des vases plus compactes, une mangrove haute et adulte, plus clairsemée, à *Avicennia germinans* (arbres entre 10 et 25 à 30 m de hauteur) et à *Sesuvium portulacastrum* (celui-ci en touffes arrondies aux pieds des palétuviers).

Au milieu de cette mangrove (ou en continuation de celle-ci), sur sols inondés, poussent des plantes adaptées à des eaux saumâtres (*Sporobolus virginicus*, *Paspalum vaginatus*, *Scirpus maritimus*, *Eleocharis mutata*, etc.). *Eleocharis mutata* forme une population dense, de 60 à 80 cm de haut, supportant de très fortes salinités (plus de 2 fois celle de la mer; D. Sabatier, com. pers.). Ces joncs rendent leur habitat assez acide et colorent les eaux en brun foncé par leur production d'acides humiques (J. C. Lindeman 1953).

– dans l'arrière-mangrove, à la lisière des marais saumâtres, prospèrent les grandes touffes vert sombre de la fougère des marais (*Achrosticum aureum*, 2 m de haut)⁵⁰ et, sur les sols inondés mais moins salés, les roseaux (*Typha angustifolia* : 1,5 à 2 m de haut).

Dans les secteurs en érosion, la mangrove recule, quelque soit son âge. Par exemple, la jeune mangrove à *Avicennia* et à *Laguncularia* dépérit sur une plage de Kourou (1989-1991) à cause de l'asphyxie des racines par ensablement : un peu partout s'observent des remparts des troncs arrachés par les vagues dans la haute plage, des souches au milieu des placages de vase dans la basse plage et des dépôts de débris organiques.

La diversité des paramètres écologiques des milieux et les modifications de la ligne du rivage font que toute tentative de généralisation d'une zonation se heurte à de nombreux cas de figure. Il y a encore beaucoup à faire pour comprendre, par exemple, pourquoi les palétuviers dépérissent et meurent ici et là entre Cayenne et le Maroni. Soit en situation confinée derrière un cordon sableux qui ferme la communication avec l'océan, soit face à la mer ouverte ou encore dans l'arrière-mangrove, apparaissent des arbres soit en décrépitude, couverts d'épiphytes, soit morts sur pied⁵¹. Que la décadence soit naturelle ou accidentelle, qu'elle soit liée à l'envasement ou à l'ensablement des côtes, à un mauvais maintien en qualité et en volume du fonctionnement hydrique, ou encore à

un apport insuffisant et irrégulier des nutriments, le résultat est l'apparition de populations de palétuviers « en ruine ».

A notre point de vue la rapidité et l'ampleur des changements littoraux sont les facteurs déterminants en Guyane car ils conditionnent la plupart des situations. Or, à ces changements se superposent, avec un certain décalage dans le temps, ceux de la mangrove :

– d'une part, dans la ligne du rivage où il y a progression et recul ;

– d'autre part, dans le domaine littoral, où il y a développement, dépérissement, mort et régénération.

Typologie et fonctionnement des marais

Une des caractéristiques majeures de la plaine holocène de la Guyane est la présence de très vastes espaces paraliques en arrière de la mangrove, notamment entre Cayenne et l'Oyapock. Ces espaces sont le domaine de marais herbacés alternant avec des savanes et des galeries forestières.

Les dénominations réservées à ces espaces en Guyane sont très nombreuses et se prêtent parfois à des confusions : il s'agit, au gré des auteurs, soit de « marais » ou de « marécages boisés », soit de « savanes mouillées⁵² » ou encore de « pripris »... Dans certains cas, ces zones hydromorphes s'étalent

	Hydromorphie	Modèle	type	Qualité de l'eau
Swamps	Zone inondée	Zone basse	Marais	Saumâtre/Douce
			Marécages boisés	Douce
Marshes	Zone inondable	Plus haute	Marais	Saumâtre/Douce
		Criques, cheniers	Palmier-bâche	Douce
			Pinotière	Douce
			F. marécageuse	Douce

Tableau 2: Espaces paraliques sub-côtiers (synthèse)

immédiatement en arrière d'un étroit cordon littoral, dans d'autres cas elles se trouvent à l'intérieur de terres, à une distance variable de la mer. Le terme de « savane » est descriptif: il désigne seulement le paysage ouvert, par opposition à la mangrove d'une part et aux forêts-galeries ou forêts de sommets de cordons littoraux, qui le cloisonnent, d'autre part (M. Boye, 1962)

Le Marais Sarcelle, qui se trouve sur la côte occidentale de la Guyane (zone de Mana), illustre la complexité du comportement d'un espace parallèle sous la triple influence des marées, des transformations morphologiques du rivage et des conditions climatiques spécifiques (M. Lointier & M.-T. Prost, 1986, 1988). Il constitue un vaste ensemble de 5 600 ha. Une partie (1 000 ha) a été mise en culture de riz irrigué en 1986. Actuellement, toute la zone fait l'objet d'une importante opération d'extension de rizières. Le marais proprement dit s'étend sur 20 km de longueur et 4 km de largeur. La plan d'eau majeur et central (entouré par d'autres surfaces d'eau libre) a une superficie de 450 hectares et une profondeur moyenne de 20 à 25 cm⁹³.

C'est la salinité (des eaux et des sols) qui joue le rôle principal dans la différenciation des grou-

pements végétaux (J.-J. de Granville, 1976, 1986) et la richesse floristique croît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte. Les joncs (*Eleocharis mutata*), en arrière de la mangrove, en milieu salé ou saumâtre et sur argiles marines consolidées, précèdent, en général, les grands roseaux de *Typha angustifolia*. En milieu d'eau douce (1‰) poussent des Cypéracées, des Graminées, des fougères (*Blechnum serrulatum*), du moucou-moucou (*Montrichardia arborescens*), des arbrisseaux, etc. Simultanément les sols deviennent plus riches en matière organique et développent une couche de « pégasse », sorte de tourbe spongieuse et/ou fibreuse, à réseau très lâche, acide. Vers l'intérieur des terres, on passe à la forêt humide, dont la lisière comporte des fougères, des hibiscus et du palmier-bâche (*Mauritia flexuosa*) associés à des « pruniers » (*Chrysobalanus icaco*) et/ou à la pinotière (*Euterpe oleracea*) sur sols acides à pégasse.

M. Lointier et M.-T. Prost (1986, 1988) ont analysé le fonctionnement hydrologique et géomorphologique du marais Sarcelle et les relations entre les zones sous l'influence « maritime » ou « continentale ». Le premier aspect concerne le fonctionnement des deux émissaires du marais et leurs modifications entre 1986 et 1989.

Situation	Milieu	Sols	Soubassement	Végétation dominante
Arrière-mangrove	Eaux salées/saumâtres Saumâtre	Argile salée	Argile	Joncs Roseaux
	Eau douce	salés en profondeur et pégasse en surface	Argile	Cypéracées Typhacées Graminées Moucou-moucou Arbrisseaux
Chenier	Cordon		Sables	Palmier-bâche Palmiers
Crique	Fluvial	alluviaux	Alluvial	Palmier-bâche, forêt
Lisière de forêt	Marécages	acides à pégasse	Argiles	Palmier-bâche, « pruniers », hibiscus, etc.
Pinotières	Marécages	acides à pégasse	Argiles	Pinots

Tableau 3 : transect le long du Marais Sarcelle (synthèse)



fig.1 4: Côte occidentale de la Guyane – Zone du marais Sarcelle (mars 1989)

Les côtes échancrées (happencoasts) sont, en Guyane, très révélatrices d'une érosion intense. Le recul du rivage est très net : la vase est érodée autour des pointes, le cordon sableux est attaqué. L'ancienne frange de mangrove a disparu et les marais se trouvent en contact direct avec la mer. Un des aspects caractéristiques de cette évolution est la formation d'éventails sableux (washover fans) sur les revers des cordons par l'action du jet de rive.

– En 1986, deux « criques »⁵⁴ (Amarante et Goulet) assuraient l'entrée et la sortie des eaux sous l'effet de l'onde de marée. A Amarante, le volume d'eau océanique introduit dans le marais pendant le flot était plus important que celui de sortie, pendant le jusant. Il y avait une sorte de double « stockage » d'eau marine dans les chenaux secondaires d'une part et, par débordement, sous la mangrove d'autre part. La circulation d'eau était alors considérablement ralentie par l'importante surface couverte par les pneumatophores des *Avicennia*. En conséquence, il n'y avait pas d'intrusion d'eau océanique dans l'ensemble du marais saumâtre, la mangrove ralentissant les circulations naturelles.

Depuis lors, ces conditions n'ont fait qu'empirer : à présent, l'embouchure du Goulet est complètement bouchée par la croissance d'un cordon littoral sableux : il n'assure plus sa fonction d'émissaire du marais. Quant à Amarante, l'introduction d'eau marine est encore maintenue, mais ralentie, à cause d'un envasement important à la hauteur de son embouchure. En témoigne l'étendue de la mangrove morte : en 1986 celle-ci occupait seulement les embouchures des deux criques ; à présent elle s'étend sur la presque totalité des deux « bassins ».

– Un troisième émissaire est la crique Condillac située entre le bassin central du marais et le fleuve Mana⁵⁵ : la position de cette crique permet à l'eau du fleuve de pénétrer dans le marais, notamment pendant les marées de vives eaux. Condillac joue le rôle d'un chenal à marée, mais cet aspect est simplement mécanique, puisque les eaux sont très peu salées.

Il existait ainsi, en 1986, deux dispositifs favorisant les sorties et les entrées d'eau dans le marais saumâtre, dispositifs qui étaient le reflet de deux milieux différents : un premier, exclusivement « maritime » (Amarante et Goulet) et un second, « fluvio-marin » saumâtre, avec des eaux plus douces (Condillac). Depuis lors, c'est le dispositif maritime qui a le plus changé à cause de l'impact des modifications morphologiques du rivage.

Quoi qu'il en soit, la limite entre les deux domaines était, en 1986, très tranchée. Le domaine « maritime », d'extension limitée, coïncidait avec les cours sub-littoraux des criques Amarante et Goulet, parcourus régulièrement par les marées. Pendant les périodes de jusant son fonctionnement se rapprochait du « bassin versant » ; pendant le flot, de courte durée, il y avait, en revanche, débordement des eaux marines dans tout le secteur. Dans le bassin central, recevant les eaux de la Mana, la circulation des celles-ci était pratiquement nulle et la vidange très lente. Autrement dit, il n'y avait pas d'intrusion d'eau marine dans la cuvette saumâtre. Encore moins à présent. La situation de 1986 représente donc une phase dans l'évolution actuelle d'un marais de ce type.

Le deuxième point concerne les « réponses » du marais à trois situations climatiques :

– la première concerne les années de pluviométrie « normale » (1900 mm/an en moyenne), avec nébulosité moyenne et ensoleillement important. Comme on l'a signalé ci-dessus, pendant la saison « sèche », l'ensoleillement a des effets importants sur les nappes d'eau libre du marais car elle entraîne :

- une forte évaporation (accélérée par les vents).
- une augmentation de la salinité des eaux.
- une élévation de leur température dans les plans d'eau de faible profondeur (jusqu'à 35-37°C). C'est dire que, même sous des conditions « normales » de fonctionnement, des écarts écologiques significatifs peuvent avoir lieu dans ces milieux.

– la seconde situation se rapporte au rôle joué par la pluviométrie des années « humides ». En 1986, dès que les pluies ont dépassé le seuil de 40 à 50 mm, le comportement du bassin central a changé et il y a eu débordement des eaux vers le chevelu des chenaux secondaires et, à travers ceux-ci, vers la mer ; soit, une circulation venant d'un milieu « saumâtre » vers un milieu « marin » ; ou encore, la prépondérance de conditions

tableau 4 : Types de fonctionnement du Marais Sarcelle en fonction de la pluviométrie

Pluies « normales »	Années « humides »	Années « sèches »
Bassin inondé. Evaporation forte. Eaux plus salées et plus chaudes.	Circulation du milieu saumâtre vers le milieu marin.	Tanne vif.

« continentales », réglées par la pluviométrie et par un plus grand apport d'eau douce, au détriment des conditions « marines », réglées par les marées. Cette constatation est importante, car contraire au fonctionnement qu'il serait logique d'attendre (de la mer vers le marais).

— la troisième situation, enfin, concerne l'impact des années anormalement « sèches ». Pendant les années où la saison sèche s'est prolongée plus de 3 mois (comme cela a été le cas en 1969 et 1981) le bassin central du marais Sarcelle a été transformé en « tanne vif », c'est à dire, une vaste zone nue et salée, couverte par des polygones d'argile craquelée. Il est bien évident que le fonctionnement « normal » du marais a été complètement bouleversé.

Ces changements dans le fonctionnement et dans l'environnement du Marais Sarcelle montrent à quel point l'équilibre écologique de ces milieux est fragile et complexe. C'est pourquoi le suivi par télédétection des transformations des mangroves et des espaces paraliques sub-côtiers fait à l'ORSTOM devient une nécessité absolue.

La formations des cheniers

Des cordons sableux, longs et étroits, sillonnent les marais sub-côtiers et se disposent à peu près parallèlement à la côte. Il s'agit de cheniers, vestiges d'anciens rivages. Ce sont des formes azonales, qui apparaissent dans plusieurs milieux côtiers et à différentes latitudes (P. G. E. F. Augustinus, 1989). Dans le cas de la région des Guyanes ils ont été formés sous des conditions

côtiers marquées par une progradation d'ensemble⁵⁶.

Le terme peut surprendre: il convient de rappeler qu'il est d'origine française — car il a été utilisé pour la première fois en Louisiane (USA), où les cordons étaient couverts par une forêt de chênes (W. A. Price, 1955) — et qu'il fait partie intégrante de la terminologie scientifique internationale.

Un chenier est une plage qui devient isolée du rivage par une surface intertidale de boue. Leur genèse suppose:

- une progression du rivage par accumulation des vases,
- une interruption de celle-ci avec formation du chenier,
- nouvelle progression de sédiments fins, etc.

Cette définition est sédimentologique (la base du chenier sableux reposant sur des vases), morphologique (formation d'une plage) et dynamique (alternance d'accumulation et d'érosion). Il faut au moins deux cheniers, séparant deux phases de sédimentation fine, pour former une plaine à cheniers. C'est le cas de la région des Guyanes, dont la plaine holocène est de type « open ocean chenier plain » (Otvoš & Price, 1979; H. E. Reineck & J. B. Singh, 1986), les systèmes de cheniers alternant avec les phases d'accumulation fine de la Formation Demerara (P. Augustinus, 1989; J. R. K. Daniel, 1989; M.-T. Prost, 1989).

La formation de cheniers continue à se faire dans les espaces inter-bancs dès que l'apport sableux devient prépondérant. Sur la côte de la pointe Isère, par exemple, nous avons suivi⁵⁷,

Struct. séd. plate-forme interne	Rivage	Modèle / végétation
Vases massives et/ou litées	Banc de vase/progradation	Mudflat (intertidal) Mangroves, marais
Structures d'érosion, discontinuités	Espace interbanc, recul	Plages, cheniers Côte échancrée sableuse ou à mangrove
Cette combinaison fait l'originalité des côtes guyanaises		
tableau 5 : Relations entre formes, dépôts et dynamique des milieux côtiers		

entre 1984 et 1989, toutes les étapes de formation et d'évolution d'un chenier, à savoir :

- migration d'un banc de vase vers l'ouest ;
- formation, dans l'espace inter-banc, d'une barre sableuse d'avant-plage, progressivement « poussée » vers la côte par les vagues ;
- formation, en quelques mois, d'une plage rectiligne ;
- entaille d'une petite falaise par les vagues et accumulation de sables grossiers sur le revers du chenier par le jet de rive ;
- recul progressif et diminution de la hauteur du chenier ;
- formation d'une côte échancrée d'érosion.

A présent, ce chenier est séparé de la mer par une nouvelle accumulation vaseuse.

En ce qui concerne les cheniers d'estuaire, ils peuvent se développer à très court terme, notamment sur les rives gauche des embouchures (fleuves Mahury, Kourou, Organabo, crique

Malmanoury, etc.), leur vitesse de formation variant en fonction de l'apport sableux, des modalités du transport côtier et de l'hydrodynamique estuarienne.

Ces quelques exemples montrent que les cheniers réagissent très finement aux changements côtiers qui sont à l'origine de leur formation et développement. Quand bien préservés, ils sont de très bons indicateurs des modifications de l'environnement (variations des lignes des rivages, nature et intensité des processus côtiers, changements dans l'apport sédimentaire, etc.).

En conclusion, la morphologie littorale combine, à la fois :

- des côtes vaseuses d'accrétion latérale et de progradation en milieu d'énergie moyenne, et
- des côtes sableuses d'accumulation et d'érosion (plages, cordons, flèches, cheniers), formées par l'action des courants (dérive littorale, marées) et des vagues (jet de rive, flot de retour, accumulations d'arrière cordon, etc...)

La migration des bancs fait alterner cette morphologie dans l'espace et dans le temps.

Conclusions

Au terme de cette étude quelques conclusions se dégagent.

- L'évolution actuelle du rivage est caractérisée par des modifications morphosédimentaires très rapides avec alternance des phases d'accumulation et d'érosion.

- L'accumulation vaseuse est largement dominante, liée à l'apport et au système de dispersion amazoniens. Une partie des rejets fins migre en suspension au large des côtes; l'autre partie, donne naissance à de vastes bancs de vase attachés au rivage, séparés les uns des autres par des espaces inter-bancs. Bancs et espaces inter-bancs migrent vers le nord-ouest à des vitesses de l'ordre d'un kilomètre par an.

- S'il est vrai que les actions hydrodynamiques côtières – houle et courants – jouent un rôle essentiel dans ces migrations (provoquant l'érosion des parties distales des bancs et l'accumulation dans les parties frontales), il est également vrai que la nature et le comportement des vases peuvent modifier certains processus côtiers.

- La migration des bancs et les variations multitemporelles de leurs surfaces intertidales sont suivies de près par télédétection. Le rythme et la fréquence des processus d'envasement et de dévasement ne sont pas « cycliques ». Certes, certains cas traduisent une alternance à peu près équilibrée, mais bien d'autres sont irréguliers. En Guyane, en témoignent l'érosion prolongée des rivages de Sinnamary et de la Pointe Isère, l'accumulation dominante de la zone d'Iracoubo et la « stabilité » relative de la Pointe Béhague. Il est clair qu'il ne s'agit jamais de situations identiques aux précédentes. Quant au bilan à long-terme (à plus de cent ans), il est favorable à la progradation.

- Les espaces inter-bancs, sont souvent occupés par des cheniers.

- Les profils des plages sont extrêmement mobiles et deux types majeurs de côtes d'érosion en résultent: les côtes droites, formées lorsque l'apport de sable est relativement abondant (stade 1) et les côtes échancrées, formées quand l'apport sableux diminue et que le rivage est fortement érodé (stade 2).

- En Guyane, les côtes en « dents de scie » précèdent fréquemment un nouveau front vaseux migrant vers l'ouest/nord-ouest.

- L'évolution des rivages a un impact sur l'écologie des espaces paraliques sub-côtiers dont les marais sont l'expression. A noter cependant que les transformations des espaces paraliques ne sont pas uniquement dûs aux changements des rivages: une partie du Marais Sarcelle, par exemple, dépendant d'une alimentation pluviale, peut évoluer – sous des conditions climatiques spécifiques – vers un « tanne vif », provoquant un changement court mais intense dans l'écosystème.

- Les côtes des Guyanes – considérées à tort comme des côtes monotones et inhospitalières, soumises à une accumulation vaseuse dominante, occupées par des centaines d'hectares de mangroves et de marais et où rien ne se passe – sont un exemple unique d'une dynamique côtière très active, marquée par l'alternance spatio-temporelle de sédimentation et d'érosion qui se produit le long d'une marge passive soumise à la sédimentation de l'Amazone.

- L'envasement des côtes des Guyanes est un phénomène inéluctable, qui correspond, à très long terme, à des causes naturelles qui sont en action depuis des millénaires.

- La compréhension de phénomènes d'une telle ampleur, dans l'espace comme dans le temps, nécessite non seulement l'utilisation d'outils performants (comme la télédétection), mais aussi la contribution de disciplines scientifiques diverses (océanographie physique, sédimentologie, géomorphologie, hydrologie...). Seul un travail rigoureux peut fournir des résultats fiables, directs et durables pour l'application.



Références

- ALLERSMA E. : *Mud on the oceanic shelf of Guiana*. Symp. on Investigation and Resources of the Caribbean Sea and Adjacent regions, UNESCO, Paris, 1971, p. 193-203.
- Atlas des DOM: La Guyane, CNRS/ORSTOM/CEGET, Ed. CNRS, Paris, 1978, 36 planches.
- AUDIGE A. : « Estuaire du Mahury » in *Le littoral guyanais* (fragilité de l'environnement), Nature guyanaise, Sepanrit-Sepanguy Ed., Cayenne, Guyane française, 1980, p. 25-30.
- AUGUSTINUS P. G. E. F. : *The changing shoreline of Surinam (South America)*, Thesis, Uitgaven « Natuurwetenschappelijke Studiekring voor Suriname en de Nederlandse Antillen », 95, Utrecht, Pays-Bas, 1978, 232 p.
- « Actual development of the chenier coast of Suriname (South America) » *Sed. Geol.*, n° 26, p. 91-113. Elsevier Sc. Publ. Amsterdam, Pays-Bas, 1980.
- « The geomorphological development of the coast of Guyana between the Corentyne river and the Essequibo River » *Intern. Geomorphology*, p. 1281-1292, V. Gardiner Ed., Wiley, London, U. K., 1987.
- « Cheniers and Cheniers Plains: a general introduction » *Marine Geology* n° 90, p. 219-229, 3 fig. Special issue: Cheniers and Chenier Plains. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, Pays-Bas, 1989.
- AUGUSTINUS P. G. E. F., MEES R. P. R. & VAN ALPHEN J. S. L. J. : « Behaviour of the coastline between the Essequibo and the Corantyne Rivers (Guyana) since 1974 » Report Lab. of Physical Geography, 42 pp. In: *Study of approach channels to the Demerara and Berbice Rivers, Guyana*, Ed. J. Stuip, Delft University of Technology, 1984.
- AUGUSTINUS P. G. E. F.; HAZELHOFF L. & KROONA : « The chenier coast of Suriname: Modern Geological development » P. G. E. F. Augustinus Ed. Special issue: Cheniers and Chenier Plains. *Marine Geology* n° 90, p. 269-281. Elsevier Science Publish, B. V. Amsterdam, Pays-Bas, 1989.
- BARRUOL J. : Carte géologique 1: 100 000. Feuille KOUROU. Carte géologique de France. Département de la Guyane française. Imprim. Nat. Paris, 1959.
- BARTHES B. : *Cartographie de sols et problèmes d'aménagement au périmètre Crique Toussaint (Sinnamary)*. Centre ORSTOM, 29 p. Cayenne, 1988 a.
- BARTHES B. : *Possibilités d'extension du périmètre de la crique Toussaint (Sinnamary). Étude agropédologique*. ORSTOM, 14 p., coupes et cartes (1/10 000 et 1/20 000). Cayenne. Guyane, 1989 b.
- BELLESORT B. & MARTIN J. M. : *Étude préliminaire sur la sédimentation dans l'estuaire du Mahury*. LCHF Rapport, 10 p. France, 1968.
- BERTHOIS L. & HOORELBECK J. : *Étude dynamique de la sédimentation dans trois cours d'eau de la Guyane Française: Mahury, Rivière de Cayenne, Maroni*. Coll. Mém. ORSTOM n° 26, 128 p. Paris, 1968.
- BLANCANEUX Ph. : *Essai sur le milieu naturel de la Guyane Française*. ORSTOM, 126 p. Paris, 1981.
- BOULET R.; CHAUVEL A.; HUMBEL F. X. & LUCAS Y. : « Analyse structurale et cartographie en pédologie. I- Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique. II- Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. III- Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. » (3 articles). *Cahiers ORSTOM*, série Pédologie, vol XIX, 4, 309-339, 1982.
- BOULET R. & GRIMALDI C. : *Etude morphologique et géochimique du système aval d'un bassin versant élémentaire sur schiste Bonidiro*. Ecerec. Guyane française, à paraître.
- BOUYSSÉ Ph., KUDRASS H. R. & LE LANN F. : « Reconnaissance sédimentaire du plateau continental de la Guyane française » (mission Guyamer, 1976). *Bull. BRGM*, IV, 2. Paris, 1977.
- BOUYSSÉ Ph. & ROUX J. D. : *Remarque sur la circulation d'eaux turbides d'origine amazonienne le long de la côte de la Guyane Française*. *CR. Acad. Sciences* n° 278, p. 203-206. Paris, 1978.
- BOYE M. : *Rapport sur l'état du dévasement du littoral de la Guyane Française et spécialement des abords de Cayenne*. ORSTOM. IFAT. 32 pp. Guyane française, 1959.
- Les palétuviers du littoral de la Guyane française (ressources et problèmes d'exploitation). *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 15 (59), 1962, p. 271-290, 2 fig., 3 tabl., 8 pl., 1962.
- La géologie des plaines basses entre Organabo et le Maroni (Guyane Française)*. Thèse 3ème cycle. Mémoire de la Carte Géologique détaillée de la France. Guyane Française. Impr. Nationale. 148 p. Paris, 1963.
- Sables littoraux. Problèmes d'échantillonnage des cordons. *Travaux et Documents de Géographie Tropicale*, 8, 105: 161, 8 pl. phot.

- Centre D'Etudes de Géographie Tropicale, CNRS, Bordeaux, France, 1973.
- BOYE M. & CRUYS H. : *New data of the coastal sedimentary formations in French Guiana*. Proceedings of the 5th Inter-Guiana Geol. Conf. Geological Survey Depart, p. 145-168, Georgetown, Guyana, 1961.
- BRUGIERE J. M. : *Campagne de carottages dans les barres à l'entrée du Mahury et de la rivière de Cayenne*. Rapp. Centre ORSTOM, 9 p., Cayenne, Guyane, 1968.
- CHARRON C. : *Étude en Guadeloupe de l'érosion des bassins versants en contexte volcanique: valorisation de la Télédétection par croisement des données multisources*. Mémoire DESS, Univ. Paris VI., 24 pp., 5 fig., 7 pl. Annexe (6 p.), 14 réf., 1989.
- CHOUBERT B. :
Carte géologique au 1/100.000. Feuille Cayenne et notice explicative, Paris, Ministère de l'Industrie, 23 p., 1956.

Essai sur la morphologie de la Guyane (phytogéologie), BRGM, Paris, 48 p., 1957.

Carte géologique au 1/100.000. Feuille de Mana, Saint Laurent du Maroni, et notice explicative, Imprimerie Nationale, Paris, 1961.

Carte géologique au 1/100.000. Feuille de la baie de l'Oyapock et de la Pointe Behague, et notice explicative, Ministère de l'Industrie, Paris, 1962.
- CREMERS G. :
« Végétation et flore illustrée des bords de mer: l'exemple de la Savane Bordelaise » In *La Nature et l'Homme*, Mém. Carte Géol. détail, de France, 1982.

« Végétation et flore illustrée des bords de mer: l'exemple de l'île de Cayenne. » In *Le littoral guyanais: fragilité de l'environnement*. SEPANGUY-SEPANRIT Ed., 65-75, Cayenne, Guyane, 1986.
- CRUYS H. :
Note sur la géologie de la partie occidentale de la région côtière (Guyane Française). Proceedings of the V Conf. Geol. des Guyanes, Imprimerie Nat., 79-85, Paris, 1959 a.

Termes inférieurs d'âge Tertiaire et Plio-Quaternaire de la série sédimentaire côtière de la région Saint-Laurent/Mana. Proceedings Fifth Inter-Guiana Conference, 161-168, Georgetown, Guyana, 1959 b.
- CTFT : *Mangroves de Guyane: reconnaissance rapide*. Dep. Forestier du Centre de Coopération Intern. en Recherche Agron. pour le Développement. Rapport, 61 p. Nogent-sur-Marne, France, 1972.
- DANIEL J. R. K. : « The chenier plain coastal system of Guyana » *Marine Geology*, 90, n° 4, p. 283-288. Spécial issue: Cheniers and Cheniers Plains. P. G. E. F. Augustinus Ed. Elsevier Publ., Amsterdam, Pays-Bas, 1989.
- DELFT HYDRAULICS LAB. : *Demerara Coastal Investigation. Report on siltation of Demerara bar channel and coastal erosion in British Guiana*. 240 p. Delft, Pays-Bas, 1962.
- DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT (DDE) : *Historique de l'envasement des côtes des Guyanes*. Rapport (analyse des déplacements de bancs de vase par G. PANNETIER), Cayenne, 1988.
- DUBREUIL P., ROCHE M. A. & HOEPPNER M. : *Dynamique des eaux, des sels et des sédiments en suspension dans les estuaires du Mahury et de l'Approuague*, Rapport, Centre ORSTOM, Cayenne, 1974.
- DUJARDIN J. J. : « Protection des zones humides néotropicales » In *Le littoral guyanais: fragilité de l'environnement*. SEPANGUY-SEPANRIT Ed., 150-153, Cayenne, Guyane, 1986.
- FAVROT J. C., ANDRIEUX P., BARTHES B., BOPUZIGUES R., FRITSCH J. M. : *Données hydrologiques du Sinnamary à Petit Saut et à Saut Tigre*. Rapport ORSTOM, Cayenne, Guyane, 1982.
- FRITSCH J. M. : *Les transports solides. Étude d'impact de l'aménagement du barrage de Petit Saut*. Rapport. 42 p. Centre ORSTOM, Cayenne, 1984.
- FROIDEFOND J. M., PROST M.-T. & GRIBOULARD R. : *Étude sur l'évolution morphosédimentaire des littoraux argileux sous climat équatorial: l'exemple du littoral guyanais*. Rapport CORDET/IGBA, Université de Bordeaux I, Talence, 189 p., Ministère de la Recherche et de la Technologie, Paris, 1985.
- GRANVILLE J. J. :
« Un transect à travers la Savane Sarcelle (Mana-Guyane française). » *Cah. ORSTOM, Série Biol.*, 11 (1), 3-21, Paris, 1976.

« Guyane, flore et végétation » In *Atlas des DOM - La Guyane*. CNRS/ORSTOM, pl 12, notice, 5 cartes coul., 10 fig. Ed. CNRS, Paris, 1978.
- GRIMALDI C. : « Origine de la composition chimique des eaux superficielles en milieu tropical humide: exemple de deux petits bassins versants sous forêt en Guyane française. » *Sci. Géol. Bull.*, 41, 3/4: 247-262, Strasbourg, France, 1988.
- GRIMALDI M. & BOULET R. : Intérêt de la caractérisation de l'espace poral dans l'étude du fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pédologique sur socle en Guyane française, *Cahiers de Pédologie*, ORSTOM, 1988.

- GUILLOBEZ S. : Esquisse physiographique de la région côtière de la Guyane au 1/500 000. Pédologie. IRAT. Cayenne, 1979.
- HOOCK J. : Les savanes guyanaises : Kourou. Essai de phytoécologie numérique. Mémoires ORSTOM, 44. 251 p. , 86 fig. , 41 pl. fotogr. Paris, 1971.
- JEANTET D. : Processus sédimentaires et évolution du plateau guyanais au cours du Quaternaire Terminal. Thèse 3^e cycle. 336 p. , 31 tabl. , 93 fig. , Département de Géologie et Océanographie, IGBA, Université de Bordeaux I, Talence, France, 1982.
- JOUANNEAU J. M. & PUJOS M. :
« Suspended matter and bottom deposits in the Mahury estuarine system (French Guiana): environmental consequences. » *Netherlands Journal of Sea Research* 21 (3), 191-202, Pays-Bas, 1987.
- Similarities and differences in the nature and composition of estuarine sediments of French Guiana: the impact of the Amazon. Abstracts of the Chapman Conference on the fate of particulate and dissolved components within the Amazon Dispersal System: River and Ocean, AGU, Charleston. Wild Dunes, USA, 1988a.
- Suspended matter and bottom deposits in the Maroni system (French Guiana). *Netherl. Journal Sea Research*, 22, 2, 99-108, 1988 b.
- Variations annuelles des concentrations en matières en suspension. Estimation des débits solides des fleuves Maroni et Mahury (Guyane française). Abstracts 11th Caribbean Geol. Conf. , Barbados, juillet 1986, 1988 c.
- KROOK L. :
Investigations on the mineralogical composition of the Tertiary and Quaternary sands in northern Surinam, Proc. Seventh Guiana Geol. Conf. 1966. Paramaribo. Surinam / Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen, 27: 89-110. Pays Bas, 1969 a.
- Sediment Petrographical Studies in Northern Suriname. Thèse, Academic Proefschrift, Vrije Universiteit, 154 p. , Amsterdam, Pays-Bas, 1979.
- LAFOND L. R. : Études littorales et estuariennes en zone intertropicale humide. Thèse, Géologie, Faculté de Sciences d'Orsay, 3 vol. , 836 p. , 271 illust. , Orsay, 1967.
- LESCURE J. P. : La mangrove guyanaise: architecture des jeunes stades et vie avienne. *Café. ORSTOM, série Biol.* , 12 (4), 361-376. Paris, 1977.
- LESCURE J. P. : Ecological aspects of the mangrove forest in French Guiana. *Memórias del Seminário sobre el estudio científico y el impacto humano en el ecosistema de manglares*: 76-93. UNESCO, Of. Reg. de Ciencia y Tecnología para la Am. Latina y el Caribe, Montevideo (1980), Uruguay, 1980.
- LINDEMAN J. C. : *The vegetation of the coastal region of Surinam*. Thèse, Kemomk en zoon, N. V. Utrecht, Pays-Bas, 1953.
- LOINTIER M. :
Dynamique des eaux et intrusion saline dans l'estuaire du Sinnamary (Guyane française). Rapport ORSTOM, Cayenne, Guyane, 1984.
- Hydrodynamique et morphologie de l'estuaire du fleuve Sinnamary (Guyane Française). In: *Le littoral guyanais (fragilité de l'environnement)*. *Nature Guyanaise*. Sepanrit-Sepanguy Ed. : 37-44. Cayenne. Guyane française, 1986.
- LOINTIER M. & PROST M.-T. :
« Morphology and hydrology of an equatorial coastal swamp: example of the Sarcelle Swamp in French Guiana. » *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, vol. 4, 59-77, J. Rabassa Ed. A. A. Balkema Publ. , Rotterdam, Pays-Bas, 1986.
- Coastal sedimentation and local rivers supply in French Guiana: comparisons with the Amazon. Abstracts of the Chapman Conference on the fate of particulate and dissolved components within the Amazon Dispersal System: River and Ocean. Nittrouer & De Master Ed. Charleston, Wild Dunes, USA, 1988 a.
- Environnement côtier des Guyanes. Rapport intermédiaire, novembre 1988. Centre ORSTOM et Conseil Régional de la Guyane. 46 p. , 39 fig. , 7 pl. , 66 réf. , Cayenne, Guyane française, 1988 b.
- MARIUS C. : Contribution à l'étude des mangroves du Sénégal et de la Gambie: écologie, pédologie, géochimie, mise en valeur. Thèse d'Etat, Sc. , Strasbourg ULP, 309 p. , France, 1984.
- MAZEAS J. P. : Carte géologique de France. Dép. de la Guyane française. 1: 100 000. Feuille IRACOUBO. Imp. Nat. Paris, 1961.
- MIGNIOT C. :
« Les méthodes de marquage des sédiments par des indicateurs radioactifs. » *La Houille Blanche*, 7 (1970): 661-671. Paris, 1970.
- « Tassement et rhéologie des vases (première partie). » *La Houille Blanche*, 293. 1 (1989): 11-30. Paris, 1989 a.
- « Tassement et rhéologie des vases (deuxième partie). » *La Houille Blanche*, 294. 2 (1989): 95-112. Paris, 1989 b.
- MIGNIOT C. & BELLESORT B. : Estuaire du Mahury: étude des propriétés physiques des sédiments. LCHF. Juin 1967. France, 1967.
- MONTAGUT M. : La mangrove guyanaise. CNDP. Ministère de l'Education. CDDP de Guyane. 31 p. multigr. Cayenne. Guyane, 1982.

- NEDECO : Surinam transportation study. Report on hydraulic investigation. 239 p. La Haye. Pays-Bas, 1968.
- NITTROUER C. A. & DE MASTER D. J. : *Sedimentary processes on the Amazon continental shelf*. Nittrouer & De Master Ed. Pergamon Press Publ. 379 p. New York. USA, 1987.
- OTVOS J. E. G. & PRICE W. A. : « Problems of chenier genesis and terminology – an overview. » *Marine Geology*, 31 : 251-263, 1979.
- PENLAND S. & SUTER J. R. : « The geomorphology of the Mississippi River Chenier Plain. » *Marine Geology*, 90 : 231-258. 18 fig. Special issue: Cheniers and Chenier Plains. P. Augustinus Ed. Elsevier Science Publ. B. V. Amsterdam. Pays-Bas, 1989.
- PRICE W. A. : *Environment and formation of chenier plains. Quaternaria*, 2 : 75-86, 1955.
- PROST M.-T. :
 « Quelques problèmes relatifs à l'évolution côtière en Guyane. » in *Etude de l'évolution morphosédimentaire des littoraux argileux sous climat équatorial: l'exemple du littoral guyanais*, Rapport CORDET (189 p) : 1-62. Décembre 1985. Institut Géol. du Bassin d'Aquitaine (I.G.B.A.) Université de Bordeaux I. Ministère de la Recherche et de la Technologie. Paris, 1985.
- « Morphologie et dynamique côtières dans la région de Mana. » in *Le littoral guyanais (fragilité de l'environnement)*. *Nature Guyanaise*. Sepanrit-Sepanguy Ed. : 31-36. Cayenne. Guyane française, 1986 a.
- « Aspects of the morpho-sedimentary evolution of French Guiana's coastline. » *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, vol. 4, 191-218. J. Rabassa Ed. A. A. Balkema Publ. Rotterdam, 1986 b.
- « Shoreline changes in French Guiana. » *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, vol 5. J. Rabassa Ed. A. A. Balkema Publ. Rotterdam. Pays-Bas, 1987.
- « Note sur l'envasement des côtes des Guyanes. » *Journal du CNES*, juillet 1988 : 16 : 17. Toulouse, 1988.
- Changes in coastal sedimentary environments and Remote Sensing data in French Guiana*. Abstracts of the Intern. Symp. on Global Changes in South America during the Quaternary. São Paulo. Brazil. May 1989, 1989 a.
- « Coastal dynamics and chenier sands in French Guiana. » *Marine Geology*, 90 : 259-267. 6 fig. Special issue: Cheniers and Chenier Plains. P. G. E. F. Augustinus Ed. Elsevier Science Publ. B. V. Amsterdam. Pays-Bas, 1989 b.
- PROST M.-T. & LOINTIER M. : *Sedimentology and stratigraphy of the Holocene formations of the French Guiana's coastal plain*. ABEQUA (Assoc. Bras. de Estudos do Quaternário). Publ. avulsa, 2 : 55-83. São Paulo. Brasil, 1987.
- PROST M.-T., LOINTIER M. & BARTHES B. : « Evolution côtière en Guyane française: la zone de Sinnamary. » in *Anais do VII Congresso Latino-Americano de Geologia*. Vol 1 : 424-444. Belém. Pará. Brasil, 1988.
- PROST M.-T., LOINTIER M. & PANNETIER G. : « L'envasement des côtes des Guyanes ». *Nature Guyanaise* (1), mars 1989 : 25-32, 2 fig., 4 pl. cl. Sepanguy. Cayenne. Guyane, 1989.
- PUJOS M. & ODIN G. S. : « La sédimentation au Quaternaire Terminal sur la plate-forme continentale de la Guyane Française. » *Oceanologica Acta*, vol. 9, 4, 363-382, 1986.
- REINECK & SINGH : *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag. 552 p. New York, 1986.
- REYNAUD A. : *Épistémologie de la géomorphologie*. Masson Ed. 127 p. Paris, 1971.
- RINE J. M. & GINSBURG R. N. : « Depositional facies of the mudshoreface in Suriname, South America – a mud analogue to sandy, shallow-marine deposits. » *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 55, 5 : 633-652, 1985.
- ROBAIN H. : *Organisation et transformations dans une couverture ferrallitique de Guyane française*. Thèse. Université de Paris VI, 1989.
- ROCHE M. A. :
L'estuaire du Kourou en Guyane Française: possibilités d'alimentation en eau d'une usine de pâte de bois et risques de pollution par rejets industriels dans l'estuaire. Rapport. ORSTOM. 80 p. Cayenne. Guyane française, 1977.
- Étude hydrologique du Sinnamary à Petit Saut et Saut Tigre*. Rapport ORSTOM. Cayenne. Guyane, 1978.
- ROSSIGNOL M. : *Étude d'un marais de la Guyane française: le Marais Sarcelle. Biologie, écologie des crevettes Penæus aztecus subtilis (formes juvéniles)*. Rapport multigr. , 39 p. ORSTOM. Cayenne. Guyane, 1972.
- SALOMON J. N. : « Contribution à l'étude écologique et géographique des mangroves. » *Rev. de Géom. Dynamique*, XXVII, 2/3, 1978 : 63-80, 1978.
- SOURDAT M. & DELAUNE M. : « Contribution à l'étude des sédiments meubles grossiers du littoral guyanais. » *Cah. ORSTOM, série Pédologie*, vol. VIII, 1, 81-97. Paris, 1970.
- TISSOT C., DIUWANSAH M. R. & MARIUS C. : *Evolution de la mangrove en Guyane au cours de l'Holocène. Étude palynologique*. Actes

Xème Symp. APLF, Bordeaux, France (1987) / and, Inst. Fr. Pondichéry, Trav. Sec. Sci. Tech., 1988, t. XXV: 125-137. 8 fig, 2 tabl. 20 réf, 1988.

TURENNE J. F. : « Sédimentologie des plaines côtières (Guyane Française). » in *Atlas de la Guyane*, CNRS. ORSTOM. Pl. 6, 1978.

VEILLON L. : *Sols ferrallitiques et podzols en Guyane septentrionale*. Thèse. Université de Paris VI, 1990.

VERNETTE G. : « La télédétection en océanographie côtière. » in *Cours Intern. d'océanographie côtière de la région caraïbe*. Bull. de l'IGBA. 45, 1989. : 239-245. Université de Bordeaux I. Talence. France, 1989.

Notes

156

- 1 Acquisition des données par des mesures effectuées à distance, grâce à des ondes électromagnétiques.
- 2 Elles aboutissent à une cartographie détaillée, toujours très valable.
- 3 Paléocène : Division stratigraphique de l'ère tertiaire regroupant ses trois étages les plus anciens (entre 65 et 55 millions d'années). A. Foucault & J. F. Raoult, 1980.
- 4 Miocène et Pliocène = Tertiaire (entre 25 et 1,8 millions d'années). A. Foucault & J. F. Raoult, 1980
- 5 Situé à 100 m de profondeur
- 6 En effet, les roches du socle affleurent à l'est, à Organabo. Par contre, elles se trouvent à 200 m de profondeur dans la rive gauche du Maroni et à 2000 m de profondeur dans la région de la Berbice, au Guyana.
- 7 Holocène : partie supérieure du Quaternaire Terminal (moins de 10 000 ans)
- 8 Une très importante documentation sur la Flore des Guyanes et un herbier de niveau international existent au Centre ORSTOM de Cayenne.
- 9 Un capteur est un instrument capable de recevoir un rayonnement (électromagnétique) et de le transformer dans un signal (électrique) permettant la mémorisation de l'information.
- 10 Dans les gammes de radiations auxquelles l'œil humain est sensible (très peu nombreuses, seulement du bleu au rouge, c'est à dire de 0,4 à 0,7 μ) ou ne l'est pas (large domaine de l'infra-rouge, entre 0,7 et 14 μ).
- 11 Landsat : « Land Satellite », opposé à « Sea Satellite ». La révolution de Landsat-1 était de 80 mètres, ce qui signifie que chaque point élémentaire de l'image (le pixel = picture element) correspondait à un carré au sol de 80 m de côté. Les vues obtenues étaient en trois « couleurs » (bandes spectrales) : vert, rouge, proche infra-rouge, choisies pour qu'on distingue plus facilement les types de « couverture » du sol. Le satellite suivait une orbite polaire presque circulaire (et héliosynchrone) à 920 km de la Terre, avec 14 révolutions par jour. Le temps pour une couverture complète de la Terre était de 18 jours (251 révolutions).
- 12 Landsat 2 en 1975 ; Landsat 3 en 1978 ; Landsat 4 en 1982 et Landsat 5 en 1985. Seuls 4 et 5, récupérables par la navette, fonctionnent aujourd'hui. Les orbites, presque héliosynchrones, font qu'en un point donné le satellite passe toujours à la même heure locale (9 : 15 h, heure de Guyane, pour Landsat MSS).
- 13 Spot 1 est doté des instruments HRV (haute résolution visible) avec une résolution de 20 m pour les prises de vues en couleurs (et de 10 m, panchromatiques)
- 14 Spot 2 a été mis en orbite, depuis la base guyanaise de Kourou, par le lanceur européen Ariane 40 (vol n° 35) le 21 janvier 1990 ; Spot 3 et Spot 4, plus perfectionnés, prendront le relais après.
- 15 Distance minimale séparant deux objets qu'il est possible de distinguer.
- 16 Possibilité d'observer une même zone de terrain sous deux angles différents.
- 17 L'Atelier de Télédétection est conduit par M. Lointier, Chargé de Recherche, avec l'aide de C. Charron (VAT), titulaire d'un DESS (Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées) en télédétection.
- 18 Le document obtenu est moins net que la photographie aérienne.
- 19 Multi Spectral Scanner = Capteur à balayage multispectral permettant une amélioration des résultats et une différenciation dans l'infra-rouge. Les données MSS couvrent, au sol, une surface d'environ 185 km sur 185, et peuvent être obtenues sous forme photographique et sous forme de bandes magnétiques. Landsat 4, fonctionne seulement en MSS depuis 1984. Landsat 5, qui remplace Landsat 4, a des images MSS et TM (Thematic Mapper).
- 20 Thematic Mapper, système à balayage très performant, avec 7 canaux et 30 m de résolution.
- 21 Bleu, vert, rouge, proche infra-rouge, deux moyen infra-rouge et un moyen infra-rouge thermique (celui-ci avec 120 m de résolution).
- 22 Trois bandes spectrales (vert, rouge, proche infra-rouge).
- 23 L'IGN a utilisé les données Spot pour la mise-à-jour des cartes topographiques de la Guyane au 1/50 000 et dont les premières ont été commercialisées début 1990.
- 24 Une scène a un coût moyen de 15 000 F (Landsat) à 20 000 F (Spot).

- 25 Ce qui peut paraître évident mais qui ne l'est pas toujours...
- 26 Dans le cas de la Guyane les scènes les plus favorables sont celles prises en saison sèche, avec faible nébulosité.
- 27 Dans le cas de Landsat TM, avec 7 canaux, chaque point donné sur l'image possède 7 « réponses » à priori différentes dans chaque canal; la masse totale de données brutes représente 245 760 points.
- 28 Ces inconvénients disparaîtront avec Spot 3 qui possèdera un capteur « spécial végétation ».
- 29 Les houles du large viennent du Nord-Est et Est; leur amplitude est inférieure à 2,50 m à la ligne des Ilots (au droit de Cayenne) et « sont susceptibles de provoquer des déplacements massifs de vase »; près du rivage, à marée haute, les vagues ne dépassent pas, en général, 0,50 à 0,70 m, à cause de leur amortissement par des fonds de vase molle. (M. Audige, 1986).
- 30 Vann (1980) considère que « les données sur les vagues de fond indiquent une présence d'énergie de niveau élevé, alors que se maintiennent, près des côtes, des grandes accumulations de boue liquide qui créent des bancs de vase ».
- 31 Les marées en Guyane sont de type semi-diurnes régulières. Les hauteurs d'eau au Dégrad des Cannes par rapport au zéro de Cayenne sont les suivantes:
- | | Coefficient | PM | BM | marnage |
|------------|-------------|------|------|---------|
| Vive eau | 110-115 | 3.50 | 0.60 | 2.90 |
| M. Moyenne | 70 | 2.95 | 1.10 | 1.85 |
| Morte eau | 30-35 | 2.40 | 1.60 | 0.80 |
- L'onde de marée remonte le Mahury jusqu'à 70 km de l'embouchure (vitesse moyenne de propagation: 25 à 18 km/h, entre Dégrad de Cannes et Fourgassié, au PK 44). M. Audige, 1986.
- 32 Les vases littorales sont très fines (plus de 90 % de lutites) avec un peu de sable fin (Bouysse et al., 1977; P. Augustinus, 1978; L. Krook, 1979; D. Jeantet, 1982; M. Pujos & G. S. Odin, 1986). Le cortège argileux est plutôt homogène, formé par des smectites dominant sur l'illite, de la kaolinite et des chlorites.
- 33 L'application de la télédétection est d'autant plus utile que les dimensions et l'emplacement des surfaces intertidales subissent des variations inter-annuelles (et annuelles) importantes.
- 34 Appelées « happen », en néerlandais.
- 35 La partie frontale du banc d'Iracoubo est, à présent, très proche de la partie distale du banc d'Organabo.
- 36 Ces chiffres ne représentent qu'un ordre de grandeur.
- 37 Aux limites de la plate-forme interne (nearshore area) la longueur d'onde de la houle est de 60 m en moyenne (variant entre 25 et 300 m), avec des périodes de 4 à 14 secondes (NEDECO, 1968).
- 38 Dont la vitesse critique de cisaillement est estimée à 0,7 m/s (NEDECO, 1968).
- 39 Les sédiments fins représentent une grande variété de matériaux; sous l'appellation de « sédiments pélitiques ou lutites », on classe en général tous les sédiments dont la granulométrie est inférieure à 40 microns (tamis de 350) et pour lesquels les phénomènes de floculation sont prépondérants, à savoir: les silts, les limons, les argiles, les vases, les boues, les poudres. (C. Migniot, 1989)
- 40 Granulométrie entre 100 et 10 microns, constitués surtout par du quartz, des feldspaths ou des calcites. Rappelons, pour comparaison, que les limons ont une granulométrie plus fine, entre 2 et 40 microns (C. Migniot, 1989)
- 41 « Slingmud with densities between 1100 and 1250 gr per/m³ occasionally occurs along the northwestern flank of the banks when rapid sedimentation takes place. This heavy suspension of the clay particles in water behaves as a highly viscous fluid » (Nedeco, 1968). A titre de comparaison rappelons que la concentration de sédiments dans les eaux turbides près de la côte est de quelques centaines de grammes par m³; vers le large elles passent à 10 gr/m³ par ou encore moins.
- 42 Les trois dernières périodes d'envasement de l'île de Cayenne sont 1914-18; 1950-54; 1980-86. Les prévisions sur le désenvasement indiquent une érosion maximale sur le Mahury en 1995 et sur l'estuaire de la rivière de Cayenne en 2005.
- 43 Le banc se trouve, dans la presqu'île, entre la côte occidentale du Montabo et la rivière de Cayenne sur une longueur de seulement 2 km et avec une largeur de quelques centaines de mètres en marée basse de vive-eau. En 1986 le même banc avait environ 15 km² de surface.
- 44 M. Boye (1961) a évalué à 50 000 ha environ la superficie des palétuviers exploitables en Guyane.
- 45 Palétuvier « blanc », le « siriubal » des brésiliens (siri = crabe). « Parwa », en néerlandais.
- 46 Palétuvier « rouge », le « manguezal » des brésiliens. « Mango », en néerlandais.
- 47 Jusqu'à 10 000 pneumatophores par individu chez *Avicennia nitida* (P. Birot, 1965). L'expression

- « paillason » désigne, en Guyane, la surface formée par l'ensemble de pneumatophores autour d'un arbre.
- 48 Alors que si on les met, de façon expérimentale, hors d'état de fonctionner, la teneur en oxygène du système racinaire s'abaisse à moins de 2% (J. N. Salomon, 1978).
- 49 Ce transect concerne le Marais Sarcelle, dans la région de Mana.
- 50 Considérée comme un indice de dessalure du sol (M. Boye, 1962).
- 51 Les « *Avicennia churchyards* » du Suriname (= « cimetières des mangroves »).
- 52 « Marécages sub-littoraux à joncières de cypéracées ou des typhacées, ou encore à peuplements de moucou-moucou qui poussent sur des argiles Demerara » (M. Boye, 1962).
- 53 Mesures de juillet 1985.
- 54 Terme guyanais désignant un petit cours d'eau. Ici, il s'agit plutôt de deux grands chenaux de marée.
- 55 La crique se jette dans la Mana à environ 20 km à l'amont de l'embouchure du fleuve, presque en face du bourg de Mana.
- 56 Dans le cas de la Louisiane, par contre, les cheniers résultent de l'évolution du delta du Mississippi (S. Penland & J. H. Suter, 1989).
- 57 Par des travaux de terrain, survols à basse altitude et photo-interprétation